



Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# PROYECTO FINAL DE CARRERA

**TÍTULO:** Control de calidad en el proceso de producción de perfiles laminados en frío para cadenas de reloj.

**AUTOR:** Miguel Angel Pérez García

**TITULACIÓN:** Ingeniería Técnica Industrial Mecánica

**DIRECTOR:** Josefina Antonijuan Rull

**DEPARTAMENTO:** Ma4

**FECHA:** 14-07-14

¿Este proyecto tiene en consideración aspectos medioambientales?: ☐ Sí ☒ No

## PROYECTO FINAL DE CARRERA

### RESUMEN

En este proyecto se realizará un control de calidad en el proceso de producción de perfiles laminados en frío para cadenas de reloj.

En primer lugar se hará un estudio estadístico de la merma de material en el periodo 2007-2011. A partir de este análisis, se planificará un diseño de experimentos en función de las variables de interés.

Una vez obtenidos los datos, se aplicarán técnicas estadísticas de control de calidad para extraer conclusiones sobre la mejora del proceso de producción.

Finalmente, se planificarán unas acciones correctoras cuyo objetivo es obtener una reducción de la merma de la familia de perfiles de acero inoxidable para cadenas de reloj.

### Palabras clave:

|                           |                       |                 |                  |
|---------------------------|-----------------------|-----------------|------------------|
| Poisson Inflado con Ceros | Metodo Lineal General | Mejora Continua | Acero Inoxidable |
| Merma                     | Control de Calidad    |                 |                  |

**ABSTRACT:**

This project is based on the quality control of the production for cold rolling profiles in the application watch bracelet.

The first part of the project is the analysis and the statistics for the years 2007-2011. From this data we have planned the design of experiments focus in the parameters of interest.

With the results of the experiments I have analyzed and created a quality control for the specifications that the customer demands. And from this analysis we have obtained the results and the best parameters for the product.

Finally we have planned corrective actions to improve the yield of this family of products, that was our objective.

**Keywords :**

|                     |                |                        |               |                               |                        |
|---------------------|----------------|------------------------|---------------|-------------------------------|------------------------|
| <b>Zero Poisson</b> | <b>Inflate</b> | <b>General Model</b>   | <b>Lineal</b> | <b>Continuous Improvement</b> | <b>Stainless Steel</b> |
| <b>Yield</b>        |                | <b>Quality control</b> |               |                               |                        |

# Sumario

|                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>SUMARIO</b>                                                              | <b>4</b>  |
| <b>LISTA DE FIGURAS Y TABLAS</b>                                            | <b>6</b>  |
| <b>1 INTRODUCCIÓN</b>                                                       | <b>8</b>  |
| 1.1 Origen y motivación del proyecto .....                                  | 8         |
| 1.2 Objetivos del proyecto .....                                            | 8         |
| 1.3 Alcance del proyecto .....                                              | 8         |
| 1.4 Requerimientos previos.....                                             | 8         |
| <b>2 PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA Y DEL CONTEXTO GENERAL DEL PROYECTO</b>     | <b>9</b>  |
| 2.1 Proceso de fabricación del acero inoxidable .....                       | 9         |
| 2.2 Proceso de fabricación de perfiles laminados en frío .....              | 11        |
| <b>3 CONTROL DE CALIDAD</b>                                                 | <b>13</b> |
| 3.1 El ciclo PDCA en la mejora continua.....                                | 14        |
| 3.2 Herramientas estadísticas de control de calidad.....                    | 14        |
| 3.2.1 Software estadístico MINITAB y R .....                                | 15        |
| <b>4 PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO</b>                                         | <b>16</b> |
| 4.1 Identificar el proceso a mejorar .....                                  | 16        |
| 4.2 Recopilar datos para profundizar en el conocimiento del proceso.....    | 16        |
| 4.2.1 Análisis e interpretación de los datos .....                          | 16        |
| 4.2.2 Análisis de volumen de fabricación .....                              | 17        |
| 4.2.3 Análisis facturación.....                                             | 18        |
| 4.2.4 Análisis merma.....                                                   | 19        |
| 4.3 Análisis de los perfiles 81-1267 y 81-1266.....                         | 24        |
| 4.4 Establecer los objetivos de mejora.....                                 | 28        |
| 4.5 Detallar las especificaciones a cumplir.....                            | 28        |
| 4.6 Definir los procesos necesarios para conseguir los objetivos .....      | 29        |
| <b>5 DISEÑO DE EXPERIMENTOS</b>                                             | <b>30</b> |
| 5.1 Diseño de experimentos para control superficial.....                    | 30        |
| 5.1.1 Diagrama Causa-Efecto .....                                           | 31        |
| 5.1.2 Análisis de factores de defectos superficiales .....                  | 35        |
| 5.2 Matriz de diseño experimentos.....                                      | 40        |
| 5.2.1 Matriz de diseño de experimentos control de calidad superficial ..... | 40        |

|           |                                                                       |           |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.2.2     | Matriz de diseño de experimentos control de calidad mecánico.....     | 41        |
| 5.2.3     | Matriz de diseño de experimentos control de calidad dimensional ..... | 41        |
| 5.3       | Tabla de experimentos y muestreo .....                                | 42        |
| <b>6</b>  | <b>RESULTADOS .....</b>                                               | <b>43</b> |
| 6.1       | Control de calidad mecánico: Análisis de resultados .....             | 43        |
| 6.1.1     | Análisis de normalidad de datos.....                                  | 43        |
| 6.1.2     | Comparación de los tratamientos térmicos.....                         | 43        |
| 6.1.3     | Resultados sin tratamiento térmico .....                              | 44        |
| 6.1.4     | Resultados con tratamiento térmico de recocido .....                  | 46        |
| 6.2       | Control de calidad dimensional: Análisis de resultados .....          | 47        |
| 6.2.1     | Análisis de normalidad de datos.....                                  | 48        |
| 6.3       | Control de calidad superficial: Análisis de resultados .....          | 51        |
| 6.3.1     | Objetivos del análisis de defectos superficiales.....                 | 52        |
| 6.3.2     | Exploración de datos defectos superficiales .....                     | 52        |
| 6.3.3     | Métodos MLG y PIC .....                                               | 54        |
| 6.3.4     | MLG y PIC con R .....                                                 | 57        |
| <b>7</b>  | <b>CONCLUSIONES Y PROPUESTA DE MEJORA.....</b>                        | <b>62</b> |
| <b>8</b>  | <b>PRESUPUESTO DEL PROYECTO .....</b>                                 | <b>63</b> |
| <b>9</b>  | <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                                              | <b>64</b> |
| <b>10</b> | <b>APÉNDICE .....</b>                                                 | <b>65</b> |
|           | Apéndice A: Plano de producción 81-1266 .....                         | 65        |
|           | Apéndice B: Plan de control perfil 81-1266.....                       | 66        |
|           | Apéndice C: Parámetros de Trabajo Pulidora A y B.....                 | 67        |
|           | Apéndice D: Diagrama Causa-Efecto defectos superficiales .....        | 68        |
|           | Apéndice E: Resultados control de calidad superficial .....           | 69        |
|           | Apéndice F: Resultados control de calidad mecánico .....              | 71        |
|           | Apéndice G: Resultados control de calidad dimensional.....            | 72        |
|           | Apéndice H: Programa Predicción defectos en R .....                   | 75        |

# Lista de figuras y tablas

## Figuras

|                                                                                                           |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Fig.1. Diagrama de flujo de proceso fabricación del acero inoxidable.....                                 | Pag.10 |
| Fig.2. Diagrama de flujo de proceso laminación en frío.....                                               | Pag.12 |
| Fig.3. Diagrama de Pareto Histórico Volumen Perfiles 2007-2011.....                                       | Pag.17 |
| Fig.4. Diagrama Serie temporal Histórico Perfiles mayor volumen 2007-2011.....                            | Pag.18 |
| Fig.5. Diagrama de Pareto Histórico Facturación Perfiles 2007-2011.....                                   | Pag.19 |
| Fig.6. Diagrama de Barras Histórico Kilos Iniciales – Kilos Merma Total Perfiles<br>2007 -2011 .....      | Pag.20 |
| Fig.7. Diagrama de Barras Histórico Kilos Merma Perfiles 2007-2011.....                                   | Pag.21 |
| Fig.8. Diagrama de Barras Histórico Kilos merma proceso – merma calidad<br>2007-2011.....                 | Pag.21 |
| Fig.9. Diagrama de Barras Histórico Coste Merma Perfiles 2007-2011.....                                   | Pag.22 |
| Fig.10. Diagrama de Barras Kgs Merma Perfiles 2011.....                                                   | Pag.22 |
| Fig.11. Diagrama de Barras Coste Merma (euros) Perfiles 2011.....                                         | Pag.22 |
| Fig.12. Diagrama de Cajas Kilos Merma Perfiles 2011.....                                                  | Pag.23 |
| Fig.13. Gráfica de valores de merma perfil 81-1267 por orden de fabricación<br>históricos 2007-2011.....  | Pag.24 |
| Fig.14. Gráfica de valores de merma perfil 81-1266 por orden de fabricación<br>históricos 2007-2011.....  | Pag.25 |
| Fig.15. Histograma merma total, merma calidad y merma proceso perfil<br>81-1267 históricos 2007-2011..... | Pag.25 |
| Fig.16. Histograma merma total, merma calidad y merma proceso perfil<br>81-1266 históricos 2007-2011..... | Pag.25 |
| Fig.17. Diagrama Proceso con variables.....                                                               | Pag.29 |
| Fig.18. Diagrama causa-efecto defectos superficiales. ....                                                | Pag.31 |

|                                                                                          |        |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Fig.19. Imagen defecto Poro. ....                                                        | Pag.32 |
| Fig.20. Imagen defecto Pieles.....                                                       | Pag.32 |
| Fig.21. Imagen defecto Piques.....                                                       | Pag.32 |
| Fig.22. Imagen defecto Grietas transversales.....                                        | Pag.33 |
| Fig.23. Imagen defecto Raya.....                                                         | Pag.33 |
| Fig.24. Histograma %Merma diámetro 1 y diámetro 2 perfil 81-1266 Año 2011.....           | Pag.36 |
| Fig.25. Diagrama de cajas %Merma diámetro 1 y diámetro 2 perfil<br>81-1266 Año 2011..... | Pag.36 |
| Fig.26. Grafica de prueba de normalidad ensayos mecánicos.....                           | Pag.43 |
| Fig.27. Capacidad de proceso de Resistencia grupo 1.x.....                               | Pag.45 |
| Fig.28. Capacidad de proceso de Resistencia grupo 2.x... ..                              | Pag.47 |
| Fig.29. Grafica de prueba de normalidad cota ancho.....                                  | Pag.48 |
| Fig.30. Grafica de prueba de normalidad cota grueso.....                                 | Pag.48 |
| Fig.31. Capacidad de proceso dimensión ancho.....                                        | Pag.49 |
| Fig.32. Capacidad de proceso dimensión grueso .....                                      | Pag.52 |
| Fig.33. Histograma número de defectos por tipo .....                                     | Pag.53 |
| Fig.34. Histograma número total de defectos .....                                        | Pag.53 |
| Fig.35. Grafico número de defectos por grupo experimento. ....                           | Pag.53 |
| Fig.36. Diagrama valores residuos respecto predictivos .....                             | Pag.60 |
| Fig.37. Diagrama normalidad residuos-cuartiles.....                                      | Pag.60 |
| Fig.38. Gráfica predictiva número de defectos factores proceso pulidora y horno....      | Pag.61 |

## **Tablas**

|                                                                        |        |
|------------------------------------------------------------------------|--------|
| Tabla .1. Tabla especificaciones familia perfiles cadena de reloj..... | Pag.17 |
| Tabla .2. Matriz experimentos defectos superficiales.....              | Pag.40 |
| Tabla .3. Matriz experimentos defectos superficiales extendida.....    | Pag.41 |
| Tabla .4. Tabla esquemática de diseño de experimentos.....             | Pag.42 |

# **1 Introducción**

## **1.1 Origen y motivación del proyecto**

He realizado este proyecto motivado por el interés personal de mejora continua de procesos, debido a mi experiencia laboral de diseño de procesos. He estado trabajando en la empresa Sandvik, una empresa del sector metal especializada en acero inoxidable, durante más diez años comprobando la variabilidad de merma de proceso (material fuera de especificación) del grupo de productos de perfiles para cadena de reloj.

Esta familia de productos es de alto valor añadido, y representa un porcentaje elevado de la facturación de la empresa. Una mejora del rendimiento de las órdenes de fabricación representará directamente un incremento en la facturación de la empresa. Conociendo el histórico tomé la decisión de realizar un proyecto de mejora de calidad, para obtener mejores resultados económicos.

## **1.2 Objetivos del proyecto**

El objetivo es realizar un estudio estadístico para el control y la mejora de la calidad en el proceso de producción de perfiles laminados en frío para cadenas de reloj. Este estudio tiene que establecer unas medidas correctoras en el proceso de producción para obtener una reducción en la merma de los perfiles.

## **1.3 Alcance del proyecto**

El alcance del proyecto será realizar un cambio de proceso permanente, después de comprobar que los valores obtenidos una vez implementadas las propuestas consiguen una mejora de la merma del proceso.

## **1.4 Requerimientos previos**

Para poder realizar el estudio es necesario disponer de la información de valores históricos. Estos valores nos servirán para realizar un estudio estadístico y poder escoger un perfil para realizar el desarrollo del proyecto. También es necesario la colaboración de los operarios de los departamentos involucrados: departamento calidad y departamento de producción.



## **2 Presentación de la empresa y del contexto general del proyecto**

Sandvik es una empresa multinacional de origen sueco del sector metalúrgico. Las operaciones de Sandvik se basan en las siguientes áreas principales:

- Herramientas y sistemas de herramientas para corte de metales, así como componentes de metal duro.
- Equipos y herramientas para las industrias de minería y construcción, así como diversos tipos de sistemas de procesamiento de materiales.
- Los productos de aceros avanzados inoxidables, aleaciones especiales y titanio, así como materiales metálicos y cerámicos de resistencia

El Grupo Sandvik realiza operaciones dentro de cinco áreas de negocio:

- Sandvik Minería
- Sandvik Soluciones de Mecanizado
- Sandvik Tecnología de Materiales
- Sandvik Construcción
- Sandvik Venture

La planta de Barcelona se incluye dentro de Sandvik Tecnología de Materiales, y se dedica a la fabricación de dos tipos de productos alambre para muelles y productos laminados en frío. En este proyecto nos centraremos en los productos laminados en frío. Estos son realizados mediante la deformación en frío de un material de entrada de dimensiones determinados, a través de secuencias de reducción mediante rodillos de laminación. Dentro de los productos laminados en frío nos centraremos en el grupo de perfiles para cadena de reloj. En las siguientes secciones se realizará una descripción de los procesos de fabricación del acero inoxidable y de los procesos de laminación en frío, para poder tener una visión global del proceso.

### **2.1 Proceso de fabricación del acero inoxidable**

Descripción de la realización del material base (alambre) para la realización de los perfiles en acero inoxidable para cadena de reloj.

El proceso de realización de un alambre de acero inoxidable es el siguiente (ver Fig.1):

- Fusión del material (chatarra de inoxidable) en un horno de arco eléctrico. (Fig.(A)).
- Decarburización del material.
- Realización de la colada continua.(Fig.(B)).
- Creación de palanquilla bloque de 265mm por 265mm.(Fig.(C)).
- Creación de lingotes mediante laminación en caliente 150mm por 150mm. (Fig.(D)).
- Creación de alambre a partir del lingote mediante laminación en caliente. (Fig.(E)).
- Limpieza desengrasado del material. (Fig.(F)).
- Pelado del material mediante mecanizado de arranque de viruta. (Fig.( G)).

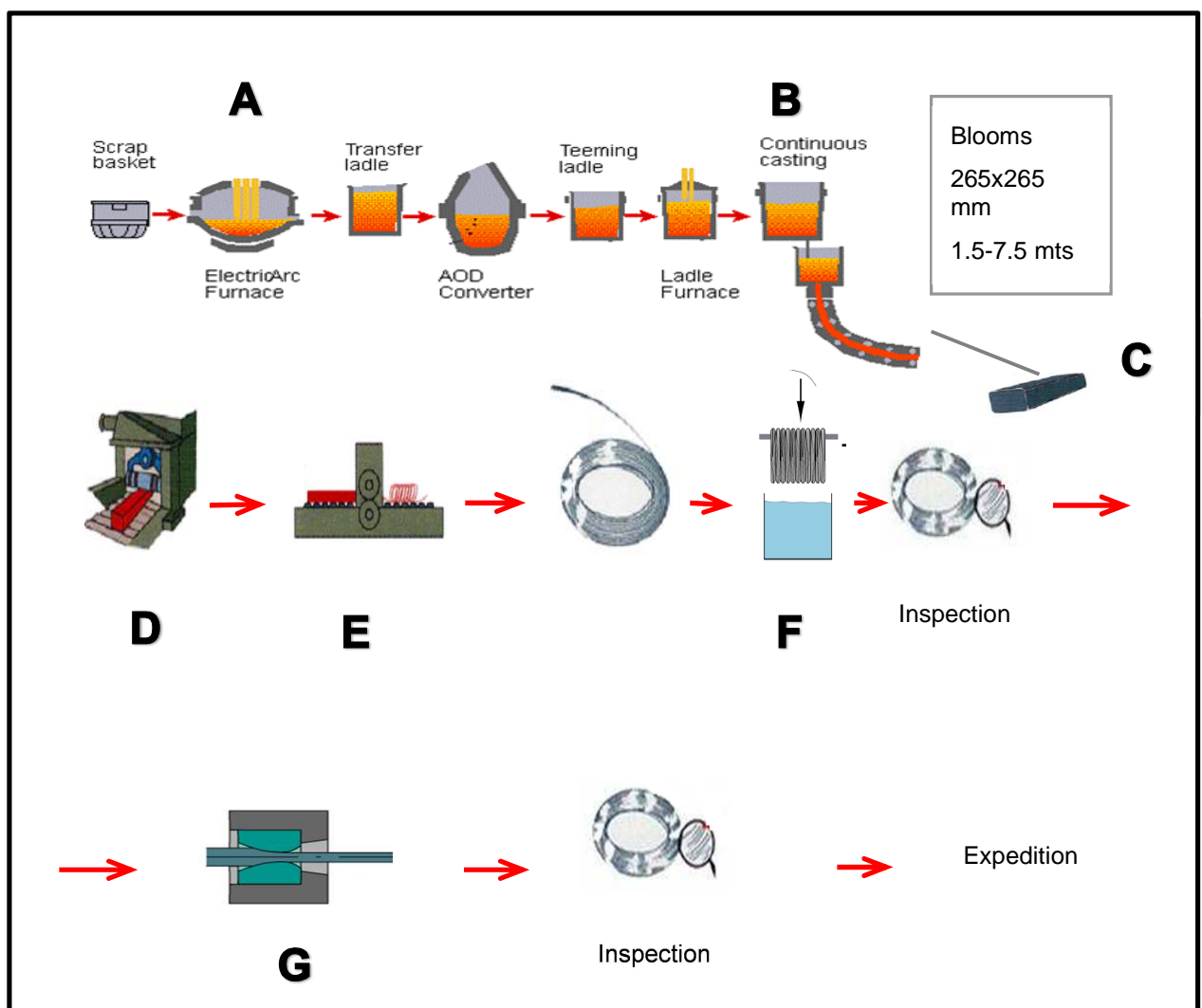


Figura 1. Diagrama de flujo de proceso fabricación del acero inoxidable.

## 2.2 Proceso de fabricación de perfiles laminados en frío

Descripción del proceso de fabricación de perfiles de laminación en frío, partiendo del diámetro de alambre inicial hasta el producto final.

Las fases del proceso de laminación en frío son las siguientes (ver Fig. 2):

- Inspección inicial del material de entrada alambre pelado. Verificación superficial, control de diámetro y tolerancias. (Fig.(A)).
- Laminación del material siguiendo el proceso de reducción aplicado en la hoja de ruta de producto. Ciclos de laminación hasta obtener las dimensiones de tratamiento térmico. (Fig.(B)).
- Tratamiento de recocido de material en horno continuo a temperatura de 1050°C con atmosfera protectora. (Fig.(C)).
- Proceso de pulido del material, mediante bandas y cepillos de compuestos abrasivos siguiendo un procedimiento establecido. (Fig.(D)).
- Laminación y perfilado del material siguiendo el proceso de reducción aplicado en la hoja de ruta de producto. Ciclo de laminación hasta la secuencia final de deformación del proceso, cumpliendo especificación del cliente de tolerancias dimensionales. (Fig.(E)).
- Corte y enderezado de varillas según especificación de cliente. (Fig. (F)).
- Inspección final del material visual, tolerancias dimensionales y propiedades mecánicas. Realización de ensayos. Emisión certificación. (Fig. (G))
- Expediciones.

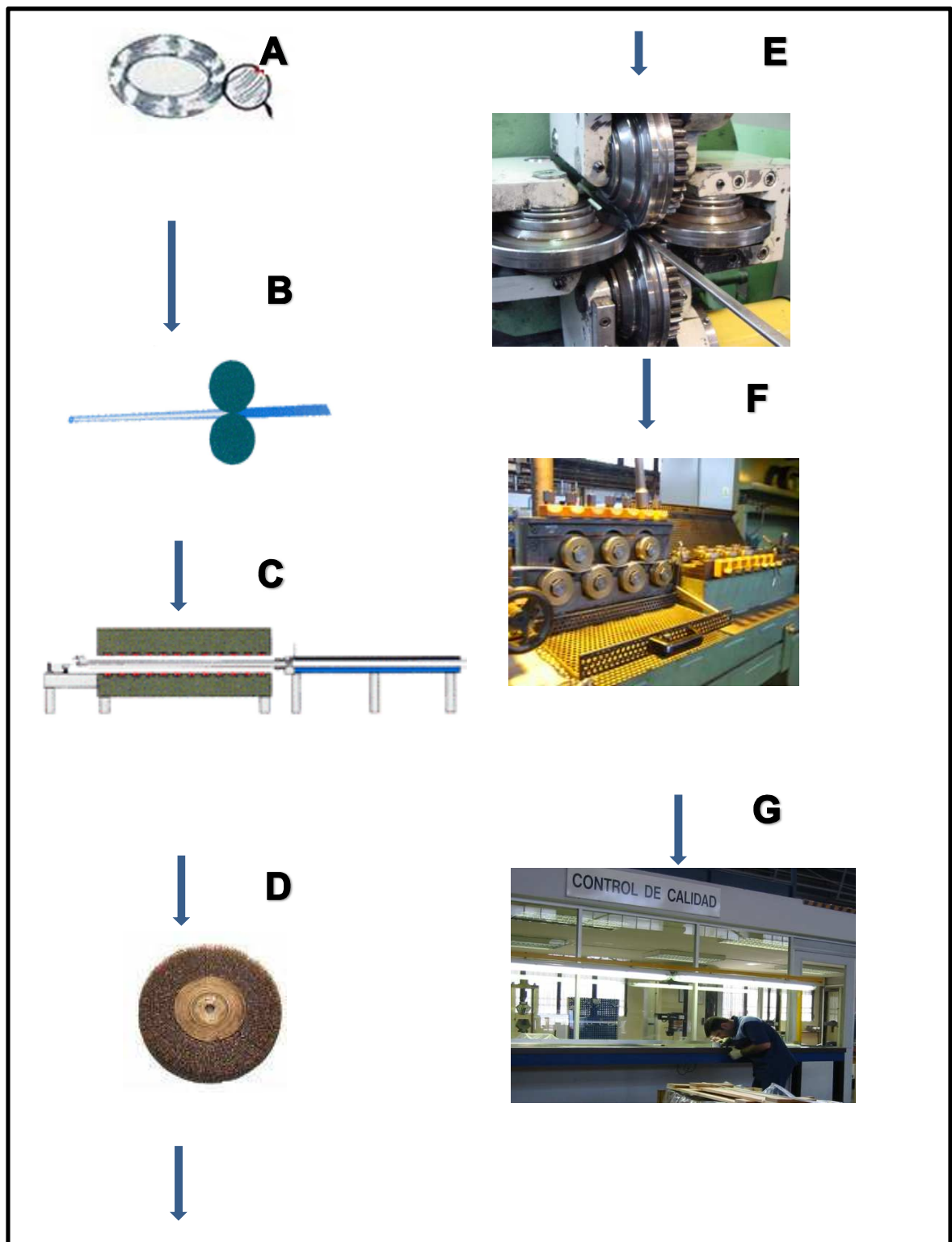


Figura 2. Diagrama de flujo de proceso laminación en frío

### 3 Control de calidad

La función del control de calidad en una empresa existe primordialmente como una organización de servicio, para conocer las especificaciones establecidas por la ingeniería del producto y proporcionar asistencia al departamento de fabricación, para que la producción alcance estas especificaciones. Como tal, la función consiste en la recolección y análisis de datos que después se presentan a diferentes departamentos para iniciar una acción correctiva adecuada. Todo producto que no cumpla las características mínimas para decir que es correcto, será eliminado, sin poderse corregir los posibles defectos de fabricación que podrían evitar esos costos añadidos y desperdicios de material. Para controlar la calidad de un producto se realizan inspecciones o pruebas de muestreo para verificar que las características del mismo sean óptimas. El único inconveniente de estas pruebas es el gasto que conlleva el control de cada producto fabricado, ya que se eliminan los defectuosos, sin posibilidad de reutilizarlo. La función principal es asegurar que los productos o servicios cumplan con los requisitos mínimos de calidad demandada por el cliente.

Históricamente el control de calidad ha sufrido una variación en el enfoque. En los inicios el control de calidad se realizaba en la etapa posterior al proceso final de fabricación, en ese momento el producto se inspeccionaba y en función de las especificaciones del cliente si las cumplía pasaba a expediciones, sino se tomaba la decisión de reprocesar o desechar, con todo el coste añadido que esto comporta. Durante la II Guerra Mundial W. Shewhart (1931) creó un método de control donde los operarios de producción mediante el control de especificaciones críticas del cliente C.E.P (control estadístico de procesos) conseguían centrar el proceso productivo mediante reajustes de máquinas obteniendo una mejor cuota de producto aceptado. Aunque se mejora la producción aceptada, la figura del control de calidad sigue apareciendo en la parte final del proceso para separar los productos defectuosos que no hayan sido posibles reajustar.

En la actualidad el objetivo de calidad es enfocar la calidad total del producto, basado en la necesidad del cliente e involucrando a todo el flujo productivo, desde proveedores, la etapa de diseño de procesos, las operaciones de producción hasta que el producto llegue al cliente final.

### 3.1 El ciclo PDCA en la mejora continua

Por actividades de mejora continua entendemos todas aquellas actividades dirigidas hacia la mejora constante de los estándares actuales.

Las actividades de mejora continua se realizan siguiendo la secuencia siguiente (*Plan, Do, Check, Action*) es decir planificar la mejora, implementarla, verificar sus efectos y realizar correcciones en función de los resultados obtenidos.

#### 1. Planificar

- Identificar el proceso a mejorar.
- Recopilar datos para profundizar en el conocimiento del proceso
- Análisis e interpretación de los datos
- Establecer los objetivos de mejora
- Detallar las especificaciones a cumplir
- Definir los procesos necesarios para conseguir los objetivos.

#### 2. Hacer

- Ejecutar los procesos definidos en la fase anterior
- Documentar las acciones realizadas

#### 3. Comprobar

- Pasado un periodo de tiempo determinado, volver a recopilar datos de control, analizarlos, comparándolos con los objetivos iniciales para evaluar si se ha producido la mejora
- Documentar las conclusiones

#### 4. Actuar

- Si es necesario, modificar los procesos según conclusiones del paso anterior para alcanzar los objetivos con las especificaciones iniciales.
- Empezar una nueva mejora.

### 3.2 Herramientas estadísticas de control de calidad

En la primera parte del proyecto he trabajado con herramientas de análisis gráfico para conseguir centrar un sujeto de estudio, debido a la gran cantidad de perfiles que componen la familia de cadena de reloj. Estas herramientas han sido las siguientes: diagrama de Pareto, histogramas, gráficas de control, diagrama de cajas (Box-Plot).

Una vez obtenido el sujeto sobre el que realizar el estudio, he necesitado utilizar diferentes métodos estadísticos para conseguir obtener unos resultados. Como métodos más importantes he utilizado métodos de inferencia (test hipótesis) con el cual he podido determinar por ejemplo el diámetro idóneo de entrada, también he estudiado los datos analizando los intervalos de confianza los cuales me han ayudado a confirmar si estábamos dentro de especificación del cliente, he realizado ANOVA para comparar resultados. Y finalmente una vez obtenido los resultados de los experimentos he trabajado métodos lineales generales (MLG) y método Poisson inflado con ceros (PIC). Estos dos últimos han sido la base de estudio del proyecto para el análisis de resultados.

### 3.2.1 Software estadístico MINITAB y R

Para realizar todo el trabajo del proyecto he necesitado trabajar con dos tipos de programas de análisis estadístico MINITAB y R.

**Minitab** es un software que permite realizar análisis estadísticos. Lo he aplicado para el análisis de datos históricos y obtención de valores estadísticos, realización de gráficos estadísticos (Box-Plot, diagrama de Pareto, histogramas), en los test de hipótesis paramétricos, intervalos de confianza, gráficas de control y estudio capacidad de proceso. Me ha resultado útil en los apartados de control de calidad dimensional y mecánico. En cambio en el control de calidad superficial, he tenido que aplicar un análisis de métodos lineales generales en concreto el Poisson Inflado con Ceros, debido a la naturaleza del control de los defectos. Cuando he tenido que realizar el control de calidad de los defectos superficiales mediante esta aplicación no he obtenido resultados satisfactorios debido a que el módulo de métodos lineales generalizados que tiene Minitab no se podía aplicar el modelo de Poisson inflado con ceros. Debido a este problema he tenido que realizar la búsqueda de otro programa que si pudiera tratar este modelo.

En la búsqueda de otro software he obtenido información sobre el lenguaje de programación estadístico R.

**R** es un lenguaje de programación libre, esto representa una ventaja respecto a otros softwares. Existe mucha información en internet relacionada con este lenguaje, esto permite programar libremente métodos estadísticos específicos, que por otra parte Minitab al ser un software cerrado no lo permite.

También he trabajado con un software intérprete de R, Rstudio. Es un software que permite programar, y controlar en diferentes ventanas la evolución del programa, número de variables, tablas y gráficas.

## **4 Planificación del proyecto**

### **4.1 Identificar el proceso a mejorar**

El proceso de mejora se realizara en la familia de perfiles para cadena de reloj, esta familia está compuesta por catorce perfiles en total. Ante la imposibilidad de realizar un estudio experimental en trece perfiles debemos analizar la familia para encontrar el perfil idóneo sobre el que realizaremos el proyecto.

Una vez obtengamos unas conclusiones sobre el perfil de estudio, se podrá aplicar los resultados a otros perfiles de la familia para conseguir mejorar la merma global del grupo

### **4.2 Recopilar datos para profundizar en el conocimiento del proceso**

El proceso de recopilación de datos se basará en los valores históricos de esta familia de productos durante el periodo 2007-2011. A partir de estos datos se realizará el análisis estadístico para obtener unas conclusiones.


#### **4.2.1 Análisis e interpretación de los datos**

El interés de realizar un análisis en profundidad de los históricos es centrar el proyecto de mejora. En nuestro caso al tener más de un perfil la familia de cadena de reloj debemos seleccionar aquellos que supongan una mayor facturación para la empresa. Para ello estudiaremos los parámetros de facturación, merma y volumen.

Pero antes de entrar en el análisis de datos es interesante conocer los perfiles de la familia de cadena de reloj y sus características técnicas.

Las especificaciones primarias de los perfiles de la familia cadena de reloj que estudiaremos son los siguientes:



| Número  | Calidad     | Dimensión | Tolerancia | Dimensión | Tolerancia | Resist.  | Tolerancia | Num. Max.  | Geometría                                                                           |
|---------|-------------|-----------|------------|-----------|------------|----------|------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Perfil  | Acero       | Ancho     | Ancho      | Grueso    | Ancho      | Tracción | Resist.    | Def.Super. |                                                                                     |
| 810-143 | Aisi 317L   | 10,00     | +/-0,03    | 3,60      | +/-0,03    | 1125     | +/-75      | 10         |  |
| 810-144 | Aisi 317L   | 10,00     | +/-0,03    | 3,20      | +/-0,03    | 1125     | +/-75      | 10         |  |
| 810-145 | Aisi 317L   | 10,00     | +/-0,03    | 2,80      | +/-0,03    | 1125     | +/-75      | 10         |  |
| 810-690 | Aisi 316LVM | 10,00     | +/-0,03    | 3,20      | +/-0,03    | 1125     | +/-75      | 10         |  |
| 810-762 | Aisi 316LVM | 6,67      | +/-0,03    | 2,60      | +/-0,03    | 1125     | +/-75      | 10         |  |
| 810-866 | Aisi 316LVM | 7,00      | +/-0,03    | 2,80      | +/-0,03    | 1125     | +/-75      | 10         |  |
| 810-909 | Aisi 316LVM | 7,00      | +/-0,03    | 2,40      | +/-0,03    | 1125     | +/-75      | 10         |  |
| 810-983 | Aisi 317L   | 10,00     | +/-0,03    | 10,00     | +/-0,03    | 1025     | +/-75      | 10         |  |
| 81-1181 | Aisi 317L   | 5,98      | +/-0,03    | 3,20      | +/-0,03    | 1050     | +/-150     | 10         |  |
| 81-1199 | Aisi 316LVM | 8,00      | +/-0,03    | 3,47      | +/-0,03    | 1125     | +/-75      | 10         |  |
| 81-1266 | Aisi 904L   | 10,00     | +/-0,03    | 3,20      | +/-0,03    | 1125     | +/-75      | 10         |  |
| 81-1267 | Aisi 904L   | 10,00     | +/-0,03    | 2,80      | +/-0,03    | 1125     | +/-75      | 10         |  |
| 81-1268 | Aisi 904L   | 10,00     | +/-0,03    | 10,00     | +/-0,03    | 1025     | +/-75      | 10         |  |
| 81-1269 | Aisi 904L   | 5,98      | +/-0,03    | 3,20      | +/-0,03    | 1050     | +/-150     | 10         |  |

#### 4.2.2 Análisis de volumen de fabricación

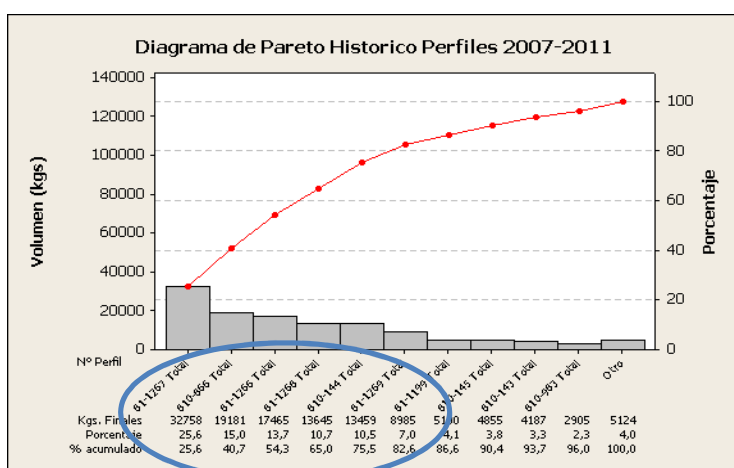


Figura 3. Diagrama de Pareto Histórico Volumen Perfiles 2007-2011

De este primer gráfico (Fig.3) ya podemos observar un grupo de perfiles que representa el 80% del volumen de fabricación (perfiles dentro de la marca azul). Ahora vamos realizar un gráfico de serie de tiempo para comprobar la tendencia de volumen en los últimos años.

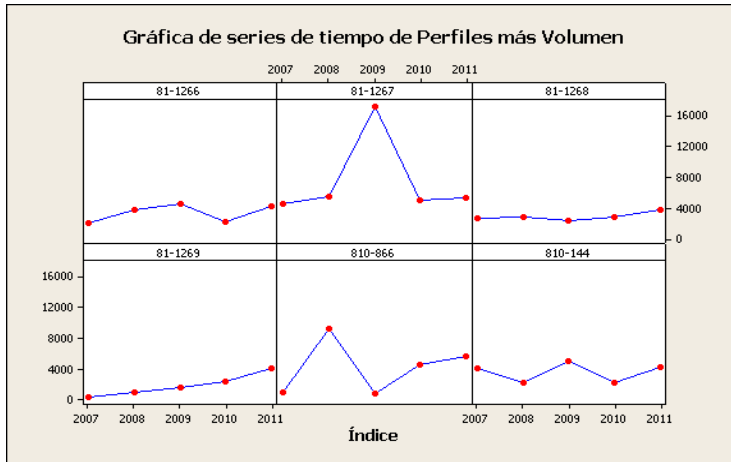


Figura 4. Diagrama Serie temporal Histórico Perfiles mayor volumen 2007-2011

En este gráfico (Fig.4) se puede observar que tenemos unos perfiles con un volumen muy estable y otros con puntas esporádicas de gran consumo.

#### Conclusión volumen de fabricación:

Podemos definir un grupo de perfiles que forman más del 80% del volumen del histórico, estos perfiles son:

- 81-1267, 810-866, 81-1266, 81-1268, 810-144, 81-1269, 81-1199

Estos datos de volumen históricos no los considero suficientes para poder escoger un sujeto de experimentación debido al gran número de perfiles presentes.

#### 4.2.3 Análisis facturación

En el caso de la facturación realizaremos también un diagrama de Pareto de históricos. Facturación indicada en miles euros (K€).

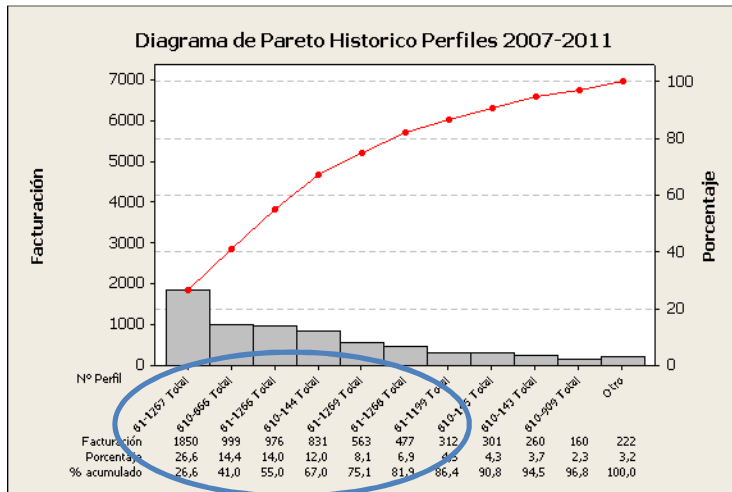


Figura 5. Diagrama de Pareto Histórico Facturación Perfiles 2007-2011

En el tema de facturación la distribución es más homogénea, solamente aparece un perfil que despunta (perfil 81-1267), pero los siguientes están nivelados.

#### Conclusión facturación:

Podemos definir un grupo de perfiles que forman más del 80% de la facturación del histórico (marcados en azul en la gráfica), estos perfiles son:

- 81-1267, 81-0-866, 81-1266, 81-0-144, 81-1269, 81-1268, 81-1199

Se puede observar que los perfiles de más del 80% en facturación y en volumen son los mismos.

Igualmente tenemos demasiados perfiles para realizar un diseño de experimentos. Para intentar reducir este número vamos a realizar un estudio de la merma.

#### 4.2.4 Análisis merma

Primeramente definiremos el concepto merma:

- **Merma:** es el valor en kilos obtenido de la resta de los kilos de material de entrada y los kilos del material expedido. Esta merma se puede dividir en:
  - **Merma de proceso:** es la cantidad en kilos de material necesaria para realizar las preparaciones de máquinas.

- **Merma de calidad:** es la cantidad en kilos de material que no cumple las especificaciones de cliente. Distinguimos entre Merma dimensional (producida por material fuera de medida), superficial (producida por más defectos superficiales de lo especificado) o especificaciones mecánicas (producida por material fuera de tolerancia de resistencia a tracción). De esta merma de calidad de los datos históricos 2007-2011 obtenemos los siguientes valores:

- 82 % Merma por problemas superficiales.
- 11 % Merma por problemas dimensionales.
- 7% Merma por problemas mecánicos.

Una vez definido realizaremos un estudio de la merma histórica en el periodo 2007-2011. En el gráfico siguiente podemos observar el volumen de entrada en kilos y los kilos de merma total para cada perfil (en los años 2007-2011).

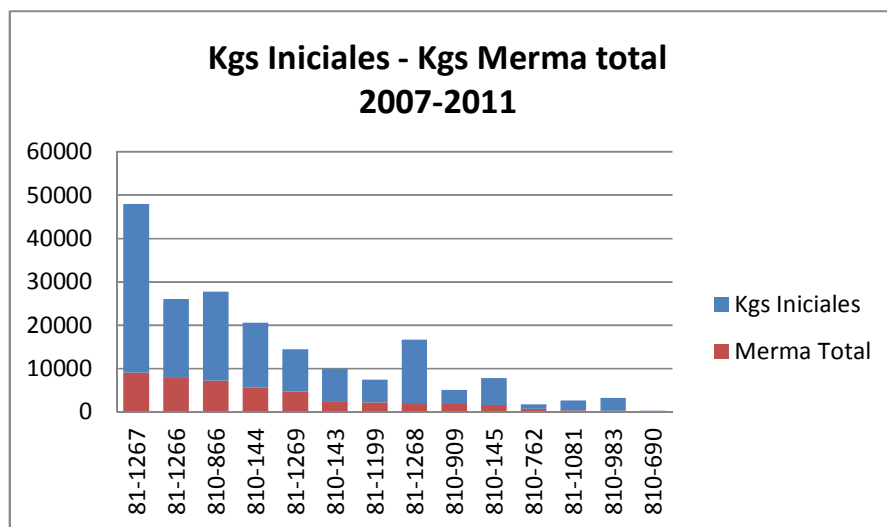


Figura 6. Diagrama de Barras Histórico Kilos Iniciales – Kilos Merma Total Perfiles 2007-2011

De este gráfico (Fig. 6) extraemos la merma y ordenando por mayor merma total obtenemos el siguiente diagrama.

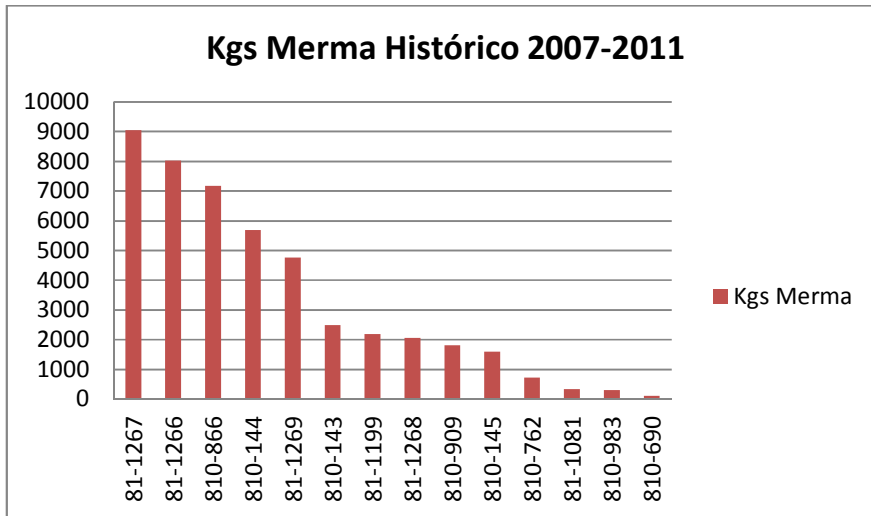


Figura 7. Diagrama de Barras Histórico Kilos Merma Perfiles 2007-2011

Esta merma la podemos desglosar en merma proceso más merma de calidad y obtenemos el siguiente gráfico:

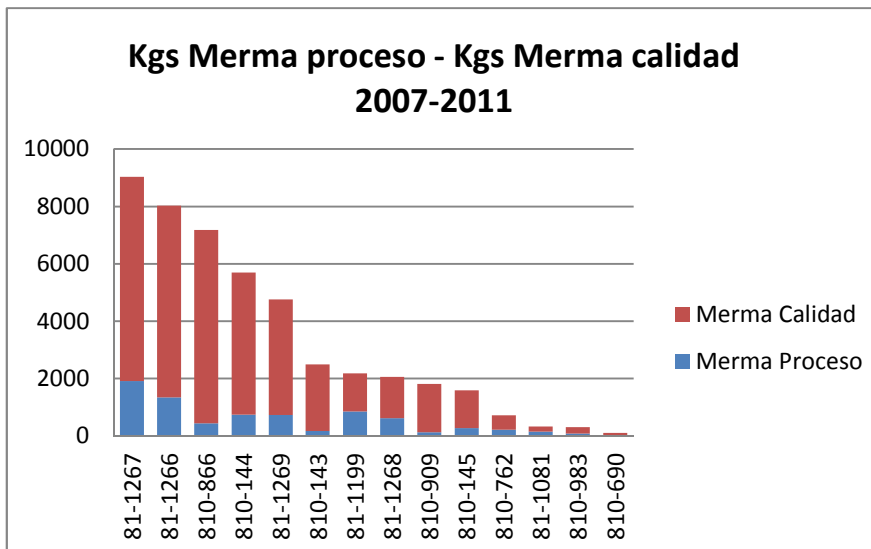


Figura 8. Diagrama de Barras Histórico Kilos merma proceso – merma calidad 2007-2011

A su vez conociendo la merma y multiplicándola por el precio kg del producto podemos obtener la gráfica de coste merma.

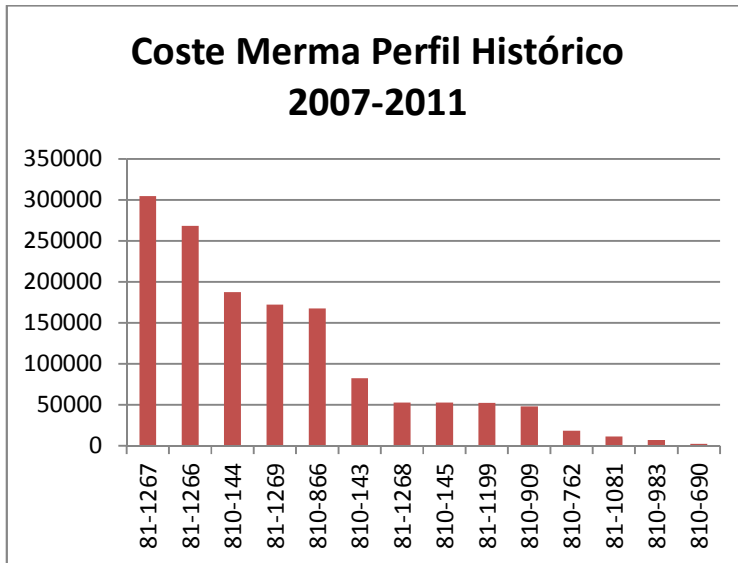


Figura 9. Diagrama de Barras Histórico Coste Merma Perfiles 2007-2011

Con los datos presentados anteriormente, tenemos descripción de los perfiles de la familia con mayor cantidad de merma histórica.

Ahora bien, tenemos el conocimiento de que el cliente está realizando una renovación de los productos hacia la calidad de acero Aisi 904L. Por tanto es interesante conocer también como se ha presentado el año 2011 para comprobar si siguen apareciendo los mismos perfiles.

Realizaremos el diagrama de barras de kilos merma 2011 y su coste:

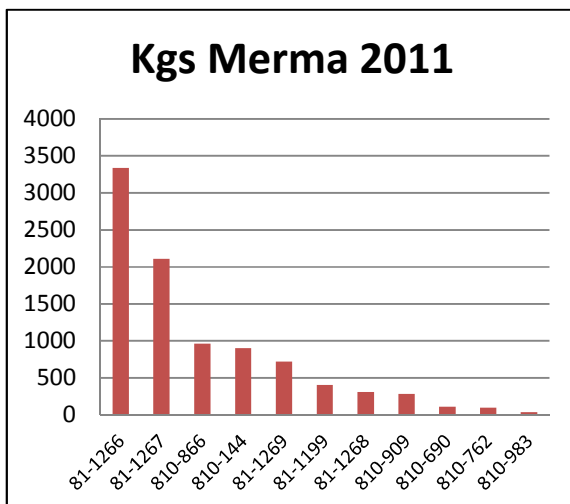


Figura 10. Diagrama de Barras Kgs Merma Perfiles 2011

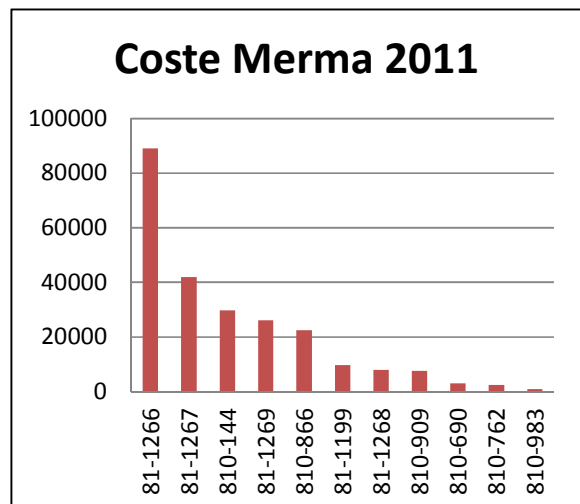


Figura 11. Diagrama de Barras Coste Merma (euros) Perfiles

Aunque los datos reflejan claramente dos perfiles 81-1266 y 81-1267 son los que tienen mayor merma y a su vez son los que tienen un mayor coste de merma, vamos a representar un diagrama de Box-Plot para realizar una comparación del año 2011.

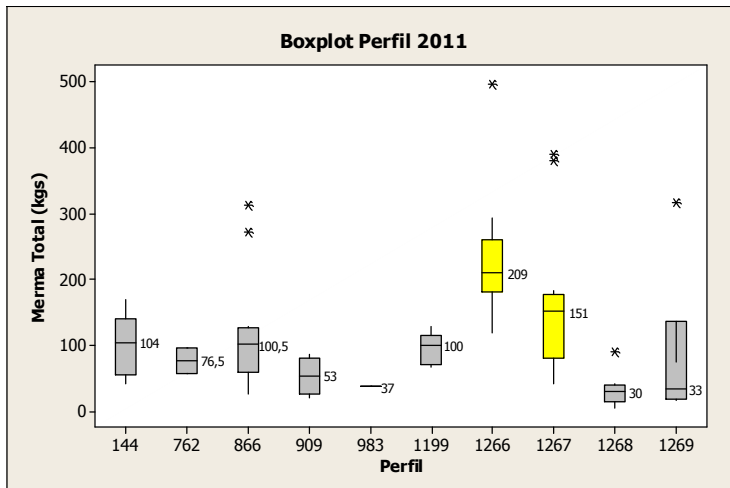


Figura 12. Diagrama de Cajas Kilos Merma Perfiles 2011

De este diagrama (Fig.12) podemos observar que los dos perfiles mencionados son los que tienen una mayor merma y también presentan una gran variabilidad.

### Conclusión merma:

De los datos de merma observamos claramente que los perfiles 81-1266 y 81-1267 son los que presentan una mayor media de merma total, y a su vez presentan también una gran varianza.

Analizando los históricos comprobamos cuales son los perfiles que configuran el 80% del volumen y la facturación:

- 81-1266, 81-1267, 81-144, 81-1269, 81-866

### Conclusión general del análisis volumen, merma y facturación

Si analizamos los datos presentados los perfiles de mayor volumen, facturación y merma son 81-1267 y 81-1266. Estos serán los perfiles estudiados en el siguiente capítulo.

### 4.3 Análisis de los perfiles 81-1267 y 81-1266

En este apartado realizaremos el análisis individual de estos dos perfiles para intentar acotar el rango de experimentación, si es posible identificar el proceso de estudio para después aplicar a la familia de perfiles.

En primer lugar realizaremos un análisis de la merma total histórica 2007-2011 para el perfil 81-1267. En los gráficos de control se acostumbra a coger grupos de datos. En mi caso he decidido coger datos individuales y de cada uno tenemos el porcentaje de merma por orden de fabricación. Aunque los gráficos de control se utilizan para mostrar datos del proceso productivo, en nuestro caso nos dan información de la evolución temporal del porcentaje de merma durante los años de estudio.

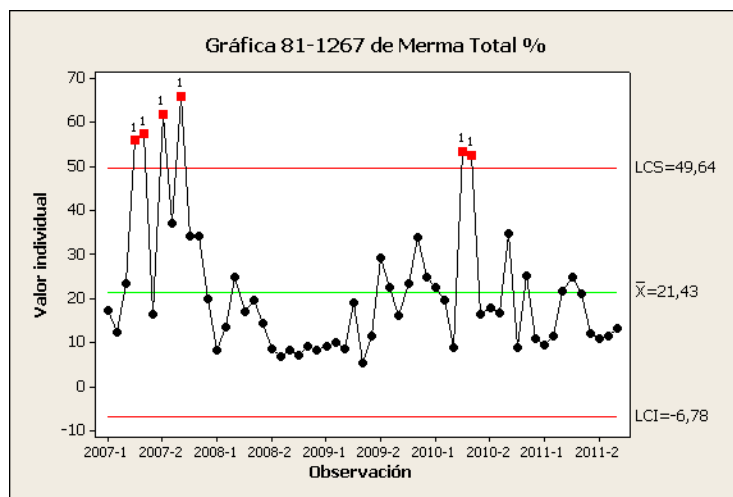


Figura 13. Gráfica de valores de merma perfil 81-1267 por orden de fabricación históricos 2007-2011

En la figura (Fig.13) podemos observar que tenemos un proceso de producción fuera de control, debido a la existencia de 6 muestras fuera del Límite de control superior (LCS). También tenemos el valor de la merma media de proceso 21,43 %.

Comprobemos ahora el otro perfil 81-1266 en el periodo 2007-2011.



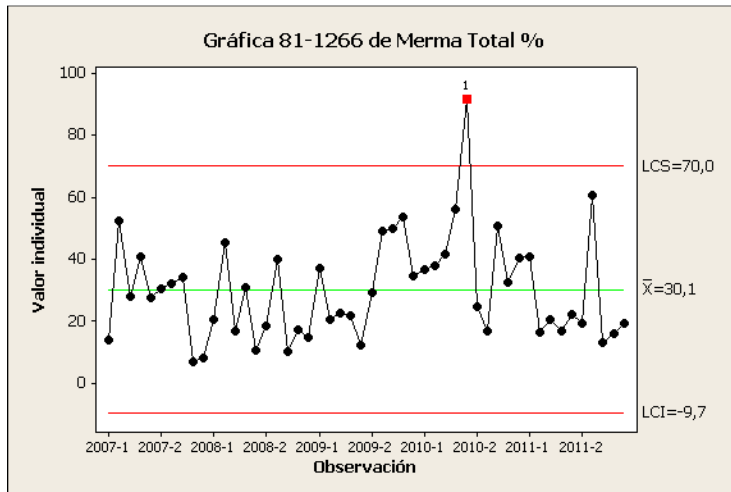


Figura 14. Gráfica de valores de merma total perfil 81-1266 por orden de fabricación históricos 2007-2011

En este caso podemos observar que excepto un punto, el proceso productivo está bajo control. Deberíamos analizar ese dato en concreto para comprobar si existe alguna causa justificativa para esa variación.

En el caso del perfil 81-1266 tenemos una media de merma total del 30.10 % superior al del perfil 81-1267. Para analizar la distribución de la merma para el perfil 81-1267 realizaremos un análisis mediante un histograma.

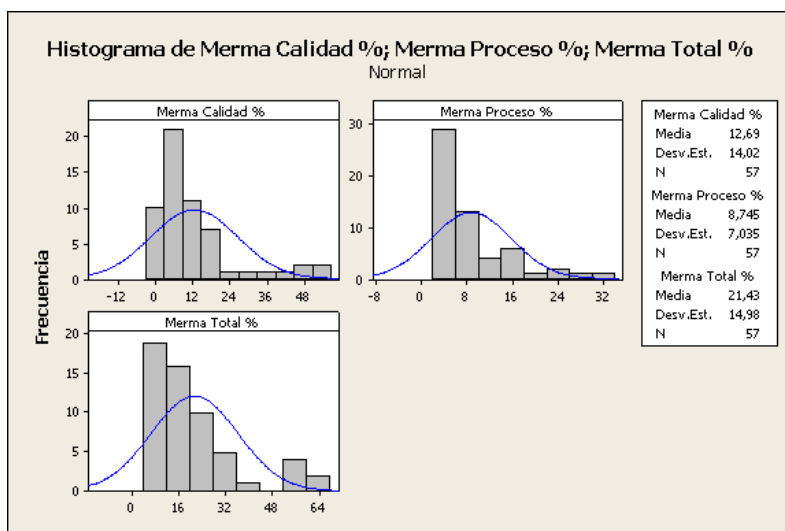


Figura 15. Histograma merma total, merma calidad y merma proceso perfil 81-1267 históricos 2007-2011

En esta figura (Fig.15) podemos apreciar la distribución de la merma de proceso e inspección de calidad para el perfil 81-1267.

De este grafico podemos obtener las siguientes conclusiones, la media de merma proceso es del 8.745 % consideramos esta merma como una merma que se debe asumir por las características del proceso de fabricación. En cambio la merma de calidad es de 12.69 % y es la merma sobre la que habrá de incidir nuestro proceso de experimentación.

En cuanto al perfil 81-1266 de los datos históricos podemos obtener el siguiente histograma.

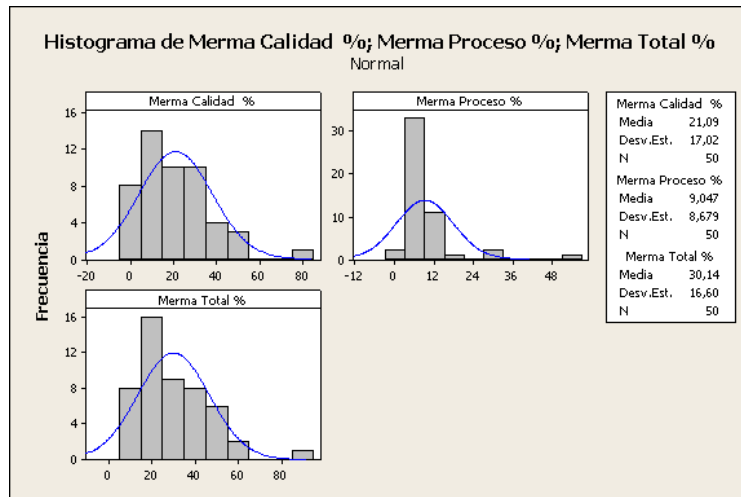


Figura 16. Histograma merma total, merma calidad y merma proceso perfil 81-1266 históricos 2007-2011

En esta figura (Fig.16) como en la del otro perfil podemos observar las variaciones de la merma de proceso y la merma de calidad.

En su caso la merma de proceso estamos en una media de 9.047 %, la consideramos inherente al proceso productivo y la merma de calidad estamos en una media de 21.09 %.

### Conclusiones del análisis individual de los perfiles 81-1266 y 81-1267

Una vez realizado el análisis de los perfiles de manera individual, podemos realizar las siguientes observaciones:

El perfil 81-1266 obtiene una merma media superior al 81-1267, tanto en merma total como en valores de merma proceso y merma de calidad. También podemos comentar que aunque el proceso tiene una merma superior también está más controlado.

Vamos a realizar un test de hipótesis para confirmar que los resultados anteriores se pueden inferir a toda la población

Primeramente vamos a realizar una hipótesis de varianza:

**Hipótesis:**

- $H_0 = \text{Varianza Merma Total 81-1266} = \text{Varianza Merma Total 81-1267}$
- $H_a = \text{Varianza Merma Total 81-1266} \neq \text{Varianza Merma Total 81-1267}$

**Resultado Minitab:**

Prueba e IC para dos varianzas: Merma Total % 81-1266; Merma Total % 81-1267

| Método                                 |     |     | Estadística | Valor P |
|----------------------------------------|-----|-----|-------------|---------|
|                                        | GL1 | GL2 | de prueba   |         |
| Prueba F (normal)                      | 49  | 56  | 1,23        | 0,458   |
| Prueba de Levene (cualquiera continua) | 1   | 105 | 1,43        | 0,235   |

**Conclusión:**

Como el Valor de P es superior a 0,05 no se rechaza la hipótesis nula de diferencia de varianza, por tanto podemos confirmar que son iguales

Una vez realizada esta hipótesis vamos a continuar con test de hipótesis para las medias.

- $H_0 = \text{Media Merma Total 81-1266} = \text{Media Merma Total 81-1267}$
- $H_a = \text{Media Merma Total 81-1266} > \text{Media Merma Total 81-1267}$

**Resultado Minitab:**

Prueba T e IC de dos muestras: Merma Total % 81-1266; Merma Total % 81-1267

Prueba T de diferencia = 0 (vs. >): Valor T = 2,85 Valor P = 0,003 GL = 105  
Ambos utilizan Desv.Est. agrupada = 15,7569

**Conclusión:**

Como el valor de P es inferior a 0,05 podemos considerar que la media de merma total del 81-1266 es superior a la media de merma total del 81-1267.

Con estos datos presentados tomaremos como sujeto de estudio del proyecto de mejora el proceso de fabricación del perfil 81-1266.

## 4.4 Establecer los objetivos de mejora

Tal como hemos comentado en el inicio del trabajo, el objetivo es reducir la merma de la familia de perfiles para cadena de reloj. Por ello hemos analizado los datos históricos para acotar el problema, y hemos llegado a la conclusión de centrar nuestro estudio en el perfil 81-1266. Este perfil será el objeto de experimento, y las conclusiones del estudio se aplicaran al resto de perfiles de la familia, debido a que todos los perfiles incluyen en el proceso los mismos factores (horno y pulidora).

## 4.5 Detallar las especificaciones a cumplir

Las especificaciones a cumplir son las acordadas con el cliente. Se documentan en el plan de control PC-FCR-WIMS-2RK65HV-81-1266-L-M, junto al plano de producción se adjunta en el apéndice (A y B). De este plan de control podemos agrupar en:

- Requerimientos Mecánicos:
  - Resistencia a la tracción 1050 / 1200 Mpa.
  - Alargamiento  $\geq 4\%$
- Requerimientos Superficiales:
  - Rugosidad N5,  $R_a \leq 0,4 \mu\text{m}$ ,  $R_{\text{max}} = 2.5 \mu\text{m}$
  - Inspección Visual número de defectos por varilla máximo 10.
- Requerimientos Dimensionales:
  - Tolerancia Ancho y Grueso 10,00 (+/-0,03) x 3,20 (+/-0,03) mm
  - Tolerancia Longitud de varilla 2800 +/- 100 mm
  - Tolerancia Rectitud máxima:  $\leq 0,3 \text{ mm} / 100\text{mm}$
  - Tolerancia Alabeo y Flecha:
    - Alabeo máximo:  $\leq 10^\circ/\text{m}$
    - Flecha máxima:  $\leq 12\text{mm}/\text{m}$

Para nuestro estudio tendremos en cuenta únicamente los siguientes requerimientos:

- Requerimientos mecánicos:
  - Resistencia a la tracción 1125 +/-75 Mpa.
- Requerimientos superficiales:
  - Número de defectos por varilla max. 10.
- Requerimientos dimensionales:
  - Tolerancia Ancho y Grueso 10,00 (+/-0,03)x 3,20 (+/-0,03) mm

## 4.6 Definir los procesos necesarios para conseguir los objetivos

Primero describiremos brevemente que es un proceso productivo. Un proceso productivo puede visualizarse como un conjunto de máquinas, personas u otros recursos, que transforman una entrada (usualmente un material) y obtienen una salida, que tiene unas respuestas observables (características técnicas). En este proceso hay unas variables conocidas (X's), necesarias para el proceso y se obtienen unos valores finales respuesta (Y's) una vez acabado el proceso. A su vez también hay que tener en cuenta los valores presentes en todo proceso que son los factores no controlados (z's).

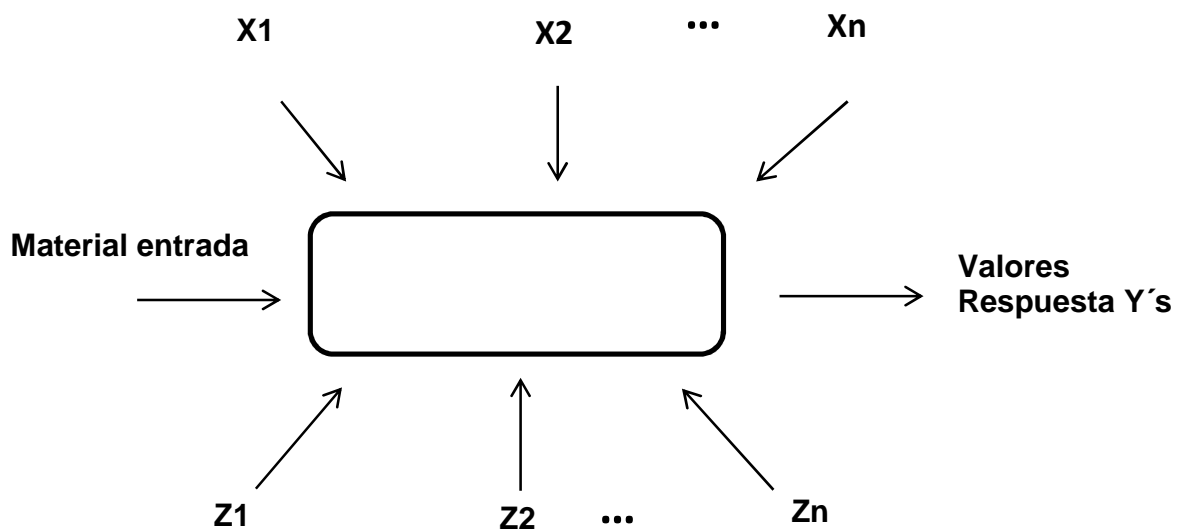


Figura 17. Diagrama Proceso con variables.

En este punto se tiene que realizar un trabajo de equipo, para definir todas las variables conocidas que pueden afectar al proceso y las variables respuesta. Como guía de trabajo se proponen estos enunciados.

- Fijar por escrito el objetivo principal y los secundarios
- ESCRIBIR lo que se conoce hasta el momento. ("Esto yo ya lo sabía")
- Escoger cuidadosamente las variables (Brainstorming...)
- Escoger los niveles de las variables (mala selección = fracaso)
- Escoger la respuesta (respuestas de interés)
- ¿Cómo se medirán los factores y las respuestas?: Calibración, viabilidad ...

- El equipo elige el diseño más adecuado. Experto expone pros y contras (replantearse el número de variables ...)
- Cuidar los detalles de la preparación (plantillas, códigos, probetas ... )
- Planificar con detalle la realización de los experimentos (equipos de medida no disponibles, accesos cerrados los sábados, ...)
- Controlar la realización del experimento (estar encima)
- Analizar e interpretar los resultados
- ¿Se han alcanzado los objetivos? ¿queda presupuesto? ( no+si = seguir)

## 5 Diseño de experimentos

En este punto una vez decidido el perfil que será el sujeto de nuestros experimentos, el 81-1266 en calidad de acero Aisi 904L, debemos comenzar a estudiar la forma de plantearlos. Consideramos como principal factor de merma para el estudio, el de defectos superficiales como queda justificado en la sección 4.2.4 Análisis Merma. Los otros tipos de defecto (mecánico y dimensional) también se estudiarán a continuación.

### 5.1 Diseño de experimentos para control superficial

Para comenzar debemos realizar una reunión de “brainstorming” o tormenta de ideas con el equipo de trabajo, formado por los especialistas de producción y los especialistas del departamento de control de calidad. De esta reunión tenemos que obtener unos resultados claros de las variables que creemos que afectan a nuestro proceso y de la tipología de defecto resultante.

#### Variables Proceso:

- ¿Qué variables de proceso pueden influir en la merma de proceso?
- ¿Qué variables de proceso pueden influir en la merma de calidad?
- ¿Conozco la variable más crítica? ¿Puedo medirla?

#### Variables Respuestas:

- ¿Cuál es la merma de proceso y de calidad?
- ¿Dónde se produce los defectos de merma de proceso?
- ¿Cuánta merma de proceso se produce en cada paso?
- ¿Qué y cómo (morfología distribución) es los defectos de merma de calidad?

- ¿Qué tipos de defectos aparecen en la vaina? ¿Se pueden caracterizar diferentes tipos?
- ¿Cómo puedo contabilizar los tipos de defectos?

### 5.1.1 Diagrama Causa-Efecto

Con estas preguntas y la guía del apartado anterior se ha realizado una reunión de trabajo de la cual se han obtenido los siguientes datos. Y se han agrupado formando un diagrama de causa – efecto (Apéndice D). En un diagrama de causa-efecto se definen el problema que se quiere resolver y a posterior se disponen los factores considerados relevantes que pueden afectar al problema en función de su procedencia, ya sean de Máquina, Método, Material o Hombre

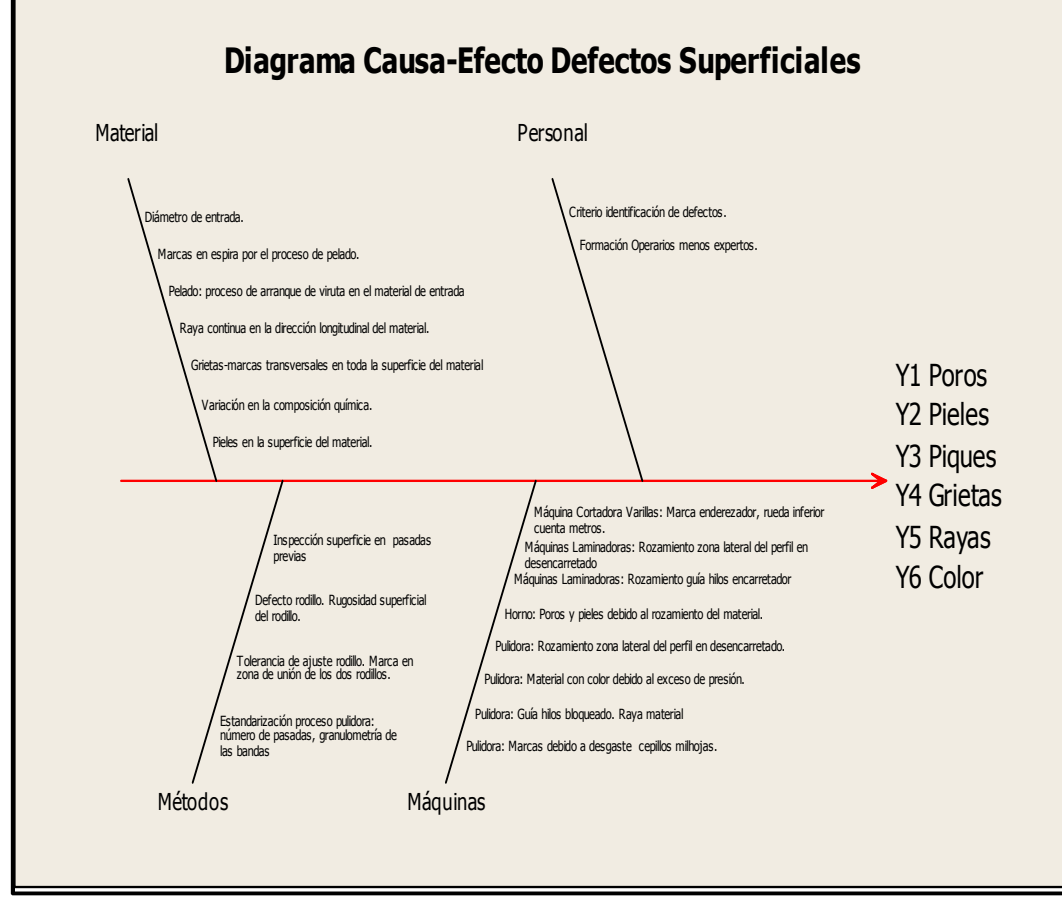


Figura 18. Diagrama causa-efecto defectos superficiales.

De este diagrama obtenemos:

**Problema:**

- Defectos superficiales en material categorizados en :
  - Y1 Poros: defecto superficial que se caracteriza por una falta de material en el perfil.

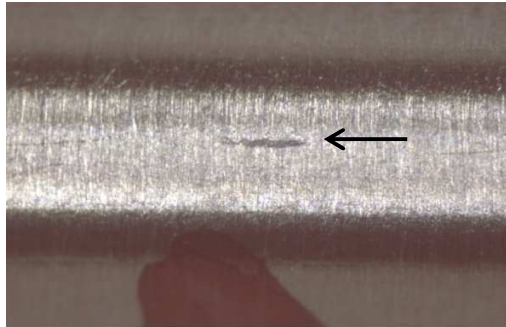


Figura 19. Imagen defecto Poro

- Y2 Pieles: defecto superficial que se caracteriza por una delgada lamina del material que se ha vuelto a deformar sobre la base del perfil

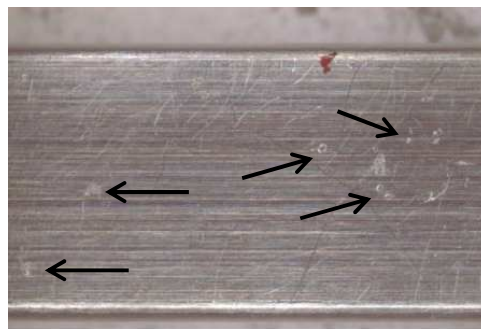


Figura 20. Imagen defecto Pieles

- Y3 Piques: defecto superficial que se caracteriza por ser poros de menor profundidad y diámetro, agrupados de manera longitudinal en el perfil.

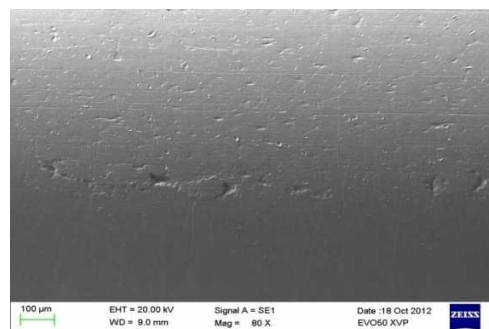




Figura 21. Imagen defecto Piques

- Y4 Grietas transversales: defecto superficial que se caracteriza por ser del tipo grieta perpendicular a la dirección de laminación del perfil.

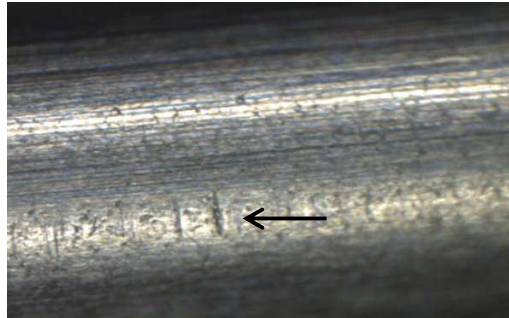


Figura 22. Imagen defecto Grietas transversales

- Y5 Raya: defecto superficial que se caracteriza por ser una falta de material lineal en dirección longitudinal del material.



Figura 23. Imagen defecto Raya

- Y6 Color: defecto caracterizado por un cambio de tonalidad en la barra.

**Factores:**

**Máquina:**

- Máquina Pulidora de perfiles en continuo:
  - Marcas debido a desgaste cepillos milhojas.
  - Guía hilos bloqueado. Raya material
  - Material con color debido al exceso de presión.
  - Rozamiento zona lateral del perfil en desencarretado. Operación de desbobinado del material del carrete a la máquina.

- Horno Continuo de Tratamiento Térmico:
  - Poros y pieles debido al rozamiento del material en estado fundente en la solera de los tubos.
- Máquinas Laminadoras:
  - Rozamiento guía hilos encarretador . Operación de bobinado de la máquina al carrete.
  - Rozamiento zona lateral del perfil en desencarretado
- Máquina Cortadora de Varillas:
  - Marca enderezador, rueda inferior cuenta metros.

#### **Métodos:**

- Estandarización proceso pulidora: número de pasadas, granulometría de las bandas de pulido, velocidad, frecuencia cambio bandas
- Tolerancia de ajuste rodillo. Marca en zona de unión de los dos rodillos.
- Defecto rodillo. Rugosidad superficial del rodillo.
- Inspección superficie en pasadas previas

#### **Material entrada:**

- Diámetro de entrada.
- Marcas en espira por el proceso de pelado.  
Pelado: proceso de arranque de viruta en el material de entrada para dejar una menor rugosidad superficial.
- Raya continua en la dirección longitudinal del material.
- Grietas-marcas transversales en toda la superficie del material
- Variación en la composición química.
- Pielas en la superficie del material.

#### **Hombre:**

- Criterio identificación de defectos.
- Formación Operarios menos expertos.

### 5.1.2 Análisis de factores de defectos superficiales

Una vez realizado el trabajo, se han de escoger aquellos factores que se consideran importantes para el estudio y las variables respuestas en este caso defectos superficiales.

En el apartado máquinas se escogen las dos máquinas que pueden afectar más a los defectos superficiales: horno y pulidora. A su vez han de ser factores sobre los que se pueda actuar para conseguir unos resultados en los experimentos.

- Factor máquina Horno continuo de tratamiento térmico. Se decide escoger esta máquina por considerarla como un factor creador de defectos superficiales, debido al rozamiento del material fundente en los tubos.
- Factor máquina Pulidora. Se decide escoger esta máquina por considerarla como una acción preventiva para eliminar defectos del horno.
- Factor Proceso Pulido. En este caso tenemos dos procesos de pulido escogidos, Pulido A y Pulido B.
- Factor Material.
- Factor Humano.

Y las variables respuestas serán los defectos superficiales siguientes:

- Poros
- Pielas
- Piques
- Grietas
- Raya
- Color

Aplicamos el procedimiento el diseño factorial a dos niveles  $2^k$ . En nuestro caso tendríamos dos niveles para cada factor y un diseño factorial  $2^5$ . Este planteamiento del diseño de experimentos tendría un coste de experimentación elevado. Debemos replantearnos los factores e intentar simplificar el planteamiento del diseño.

#### 5.1.2.1 Factor material

Del análisis de factores de material surge la principal pregunta: ¿Puede un mayor diámetro dar un mejor acabado superficial? Esta pregunta surge de la hipótesis siguiente, a mayor deformación obtendríamos una superficie más trabajada.

El proceso de laminación en frío puede absorber ciertas variaciones en el diámetro de entrada siempre que sean por exceso de material. No podríamos realizar una modificación a un diámetro inferior porque tendríamos una falta de material en los radios del perfil.

El proceso se ha trabajado con el diámetro de material de entrada 8.50 mm (Diam.1) y también se han realizado ordenes de fabricación con diámetro 9.00 mm (Diam.2). Debemos estudiar el comportamiento de estos dos diámetros con respecto al resultado de merma, para escoger el más idóneo para la experimentación.

Vamos a realizar una representación gráfica para el factor diámetro de entrada respecto a la merma del perfil 81-1266 tomados del año 2011.

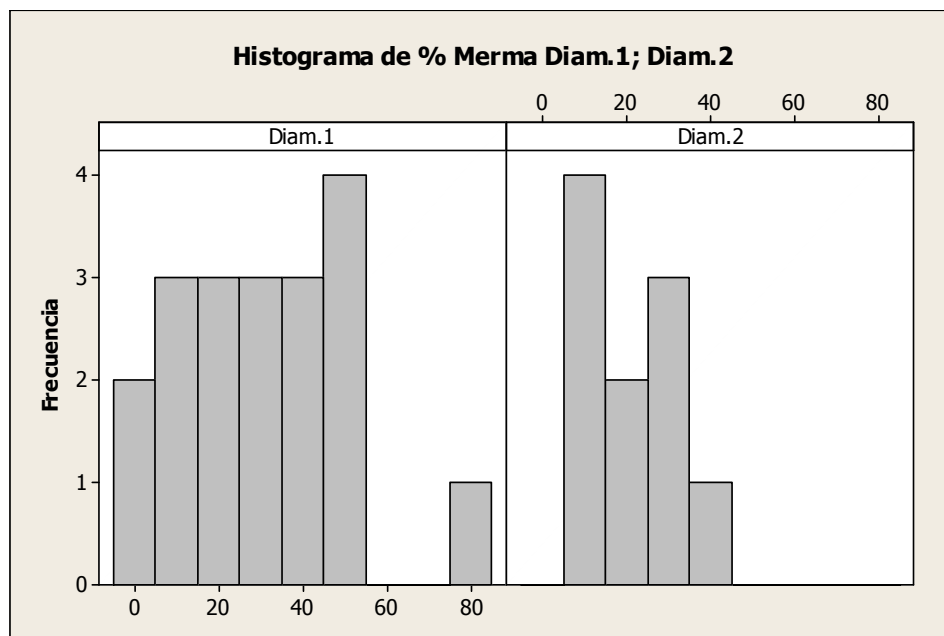


Figura 24. Histograma %Merma diámetro 1 y diámetro 2 perfil 81-1266 Año 2011

Realizaremos también una representación gráfica BoxPlot para comprobar la dispersión que obtenemos de cada diámetro (ver figura 25).

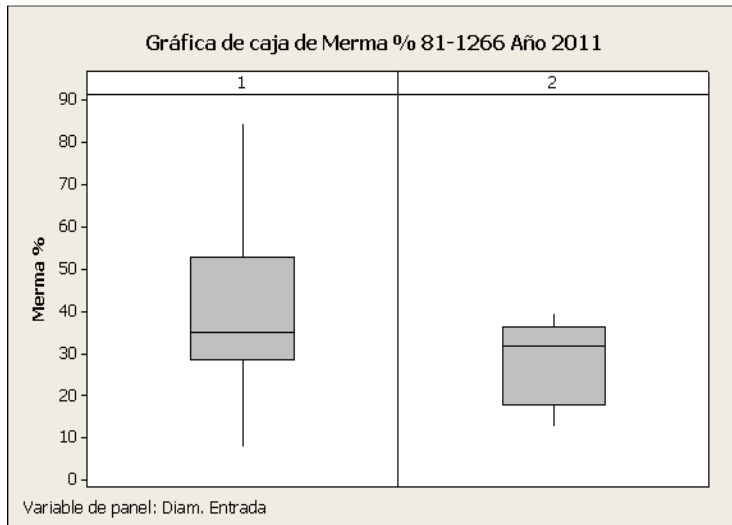


Figura 25. Diagrama de cajas %Merma diámetro 1 y diámetro 2 perfil 81-1266 Año 2011

De estas gráficas obtenemos de la muestra del año 2011:

- El Diámetro 1 (Diam.1): Presenta una media de merma del 39,39 % y una desviación estándar de 20,90
- El Diámetro 2 (Diam.2): Presenta una media de merma del 28,12 % y una desviación estándar de 10,46

Realizaremos un test de hipótesis para poder conocer los resultados de toda la población. Primeramente vamos a realizar una hipótesis de varianza:

#### Hipótesis:

- $H_0 = \text{Varianza Diam.1} = \text{Varianza Diam.2}$
- $H_a = \text{Varianza Diam.1} \neq \text{Varianza Diam.2}$

#### Resultados Minitab:

|                                        |     |     | Estadística |         |
|----------------------------------------|-----|-----|-------------|---------|
| Método                                 | GL1 | GL2 | de prueba   | Valor P |
| Prueba F (normal)                      | 7   | 4   | 3,52        | 0,241   |
| Prueba de Levene (cualquiera continua) | 1   | 11  | 0,68        | 0,428   |

**Conclusión:**

Como el Valor de P es superior a 0,05 no se rechaza la hipótesis nula de diferencia de varianza, por tanto podemos confirmar que son iguales

Una vez realizada esta hipótesis vamos a continuar con la igualdad de medias:

**Hipótesis:**

- $H_0 = \text{Media Diam.1} - \text{Media Diam.2} = 0$
- $H_a = \text{Media Diam.1} - \text{Media Diam.2} \neq 0$

**Resultados Minitab:**

Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 1,67 Valor P = 0,107 GL = 26

**Conclusión:**

Como el valor de P es superior a 0,05 no se rechaza la hipótesis nula de diferencia de media, por tanto podemos asumir que son iguales

Por tanto podemos concluir que aplicar un diámetro u otro en el proceso no nos va a repercutir en la merma final.

**5.1.2.2 Factor máquina Pulidora**

En este factor, ante la imposibilidad de realizar una nueva inversión en otro tipo de máquina, podemos realizar el experimento de diferencia entre realizar o no la operación de pulido.

**5.1.2.3 Factor máquina Horno de tratamiento en continuo**

En este caso se aplica la misma lógica del factor máquina Pulidora, ante la imposibilidad de realizar el experimento en otro tipo de horno, se diferenciará entre realizar o no la operación de tratamiento térmico.

**5.1.2.4 Factor Humano**

Para bloquear este factor en la experimentación, realizaremos las mismas operaciones con los mismos operarios en todos los experimentos y se intentará que el factor humano no incida en los experimentos.

**5.1.2.5 Factor Proceso de Pulido**

Este factor lo consideramos de gran importancia debido a que es la operación que podrá eliminar en mayor o menor medida los defectos producidos por el tratamiento térmico de recocido. Para realizar los experimentos se ha debatido en el grupo los valores de los

elementos de abrasión. La máquina Pulidora de perfiles dispone de tres torres de pulido que trabajan con cintas abrasivas y 4 cepillos mil-hojas de pulido. Con esa combinación se ha llegado a un acuerdo respecto al tamaño de grano de los abrasivos, y al número de pasadas. Se dispone de la plantilla del formato Pulido A y Pulido B en el apéndice C.

De este debate aparecen los siguientes parámetros de proceso:

### **Pulido A**

El montaje de bandas sería:

#### **Pasada 1**

- Torre 1 banda de grano 240
- Cepillo lateral 1 grano 180
- Cepillo lateral 2 grano 320
- Cepillo vertical 1 grano 180
- Cepillo vertical 2 grano 320

#### **Pasada 2**

- Torre 3 banda de grano 400
- Cepillo lateral 1 grano 180
- Cepillo lateral 2 grano 320
- Cepillo vertical 1 grano 180
- Cepillo vertical 2 grano 320

#### **Pasada 3**

- Torre 3 banda de grano 400
- Cepillo lateral 1 grano 180
- Cepillo lateral 2 grano 320
- Cepillo vertical 1 grano 180
- Cepillo vertical 2 grano 32

### **Pulido B**

El montaje de bandas sería:

#### **Pasada 1**

- Torre 1 banda de grano 240

- Cepillo lateral 1 grano 180
- Cepillo lateral 2 grano 320
- Cepillo vertical 1 grano 180
- Cepillo vertical 2 grano 320

## **Pasada 2**

- Torre 3 banda de grano 400
- Cepillo lateral 1 grano 180  
Cepillo lateral 2 grano 320
- Cepillo vertical 1 grano 180
- Cepillo vertical 2 grano 320

## **5.2 Matriz de diseño experimentos**

En nuestros experimentos tendremos tres matrices de experimentos, la de control de calidad superficial, la de control de calidad mecánico y la de control de calidad dimensional.

### **5.2.1 Matriz de diseño de experimentos control de calidad superficial**

Como queda justificado en el apartado 5.1 solo consideramos los factores: Horno, Proceso Pulido A, Proceso Pulido B en adelante Pulido A y Pulido B. Estos factores estarán a dos niveles - y +, los cuales representaran si se realiza o no la operación. En nuestro caso un diseño factorial  $2^3$ . Con este planteamiento obtenemos la matriz siguiente:

Factor A: Horno Factor B: Pulido A Factor C: Pulido B

| <b>A</b> | <b>B</b> | <b>C</b> |
|----------|----------|----------|
| -        | -        | -        |
| -        | +        | -        |
| -        | -        | +        |
| -        | +        | +        |
| +        | -        | -        |
| +        | +        | -        |
| +        | -        | +        |
| +        | +        | +        |

Tabla .2. Matriz experimentos defectos superficiales



De estos experimentos se toma la decisión de no realizar el de Pulido A + Pulido B. Considerando que es un proceso incongruente que no aportará valor los resultados obtenidos. Por tanto la matriz de experimentos quedará de la siguiente manera:

| Experimentos | A | B | C |
|--------------|---|---|---|
| Exp.1.1      | - | - | - |
| Exp.1.2      | - | + | - |
| Exp.1.3      | - | - | + |
| Exp.2.1      | + | - | - |
| Exp.2.2      | + | + | - |
| Exp.2.3      | + | - | + |

Tabla .3. Matriz experimentos defectos superficiales extendida.

### 5.2.2 Matriz de diseño de experimentos control de calidad mecánico

En este caso la matriz es sencilla ya que el único factor que afecta es el horno. Ya que el tratamiento térmico de recocido (horno) es el único factor que puede provocar una variación de resistencia a la tracción.

De este factor tenemos dos valores 0 y 1 que corresponden al 0 proceso sin tratamiento térmico y 1 proceso con tratamiento térmico. En este caso un diseño factorial  $2^1$ . Para ello escogeremos de la matriz anterior el grupo de experimentos 1 y 2.

### 5.2.3 Matriz de diseño de experimentos control de calidad dimensional

Los factores que escogeremos de estudio para el control de calidad superficial serán: Horno, proceso Pulido A y proceso Pulido B. En el diagrama de proceso de un perfil laminado en frío (pag.13) podemos observar que tanto el proceso de horno como el de pulido son dos procesos intermedios, las dimensiones finales (ancho, grueso) del perfil se obtienen en la última deformación del proceso de perfilado, por tanto podemos afirmar que estos dos procesos no afectan a la dimensión final del perfil.

En el tema del control de calidad dimensional la matriz de experimentos, en este caso como los factores experimentales del control superficial no afectan a la dimensión tendríamos solo

un grupo experimental con todos los factores. Todos los datos dimensionales de todos los experimentos serán un solo grupo de estudio

### 5.3 Tabla de experimentos y muestreo

Una vez decidida la matriz de diseño de experimentos a realizar hemos de fijar los criterios de experimentación, siguiendo unas pautas de inspección. Lazaremos dos órdenes de producción, una para el experimento sin tratamiento térmico (Exp. 1.x) y otra para el experimento con tratamiento térmico (Exp. 2.x).

Se decide preparar la cantidad inicial para cada orden de 135kgs, de material de entrada diámetro fijo 8.50 mm en calidad Aisi 904L de la misma colada. Con esta elección tendremos fijados los mismos parámetros químicos y de estructura cristalina (tamaño de grano) para todos los experimentos. De cada orden de 135kgs se obtendrán 3 experimentos de 45kgs cada uno con factores Sin Pulir, Pulido A, Pulido B. De cada uno se escogerán 15 varillas de manera aleatoria para realizar su posterior inspección.

El diseño de experimentos es el siguiente:

|     |                   |          |        | Experimentos | Parámetros Proceso |
|-----|-------------------|----------|--------|--------------|--------------------|
| 1.- | Proceso sin horno | OT 63126 | 135kgs | Exp.1.1      | Sin Pulir          |
|     |                   |          |        | Exp.1.2      | Pulido A           |
|     |                   |          |        | Exp.1.3      | Pulido B           |
| 2.- | Proceso con horno | OT 63125 | 135kgs | Exp.2.1      | Sin Pulir          |
|     |                   |          |        | Exp.2.2      | Pulido A           |
|     |                   |          |        | Exp.2.3      | Pulido B           |

Tabla .4. Tabla esquemática de diseño de experimentos.

En nuestros experimentos, aunque el planteamiento principal de trabajo se ha basado en lo defectos superficiales que son los que mayor dificultad de detección y resolución presentan, también hemos de cumplir con el resto de especificaciones del cliente.

De las 15 varillas de cada experimento se realizara:

- Control de calidad mecánico 1 medición por varilla
- Control de calidad superficial inspección visual de defectos por varilla de las 15 varillas.
- Control de calidad dimensional de cada varilla con 4 mediciones (ancho y grueso).

## 6 Resultados

### 6.1 Control de calidad mecánico: Análisis de resultados

Los datos para este análisis se encuentran en el apéndice F. Primeramente realizaremos un análisis de normalidad de los datos obtenidos (Número de datos 90).

#### 6.1.1 Análisis de normalidad de datos

Realizando el análisis de normalidad de estos datos obtenemos lo siguiente:

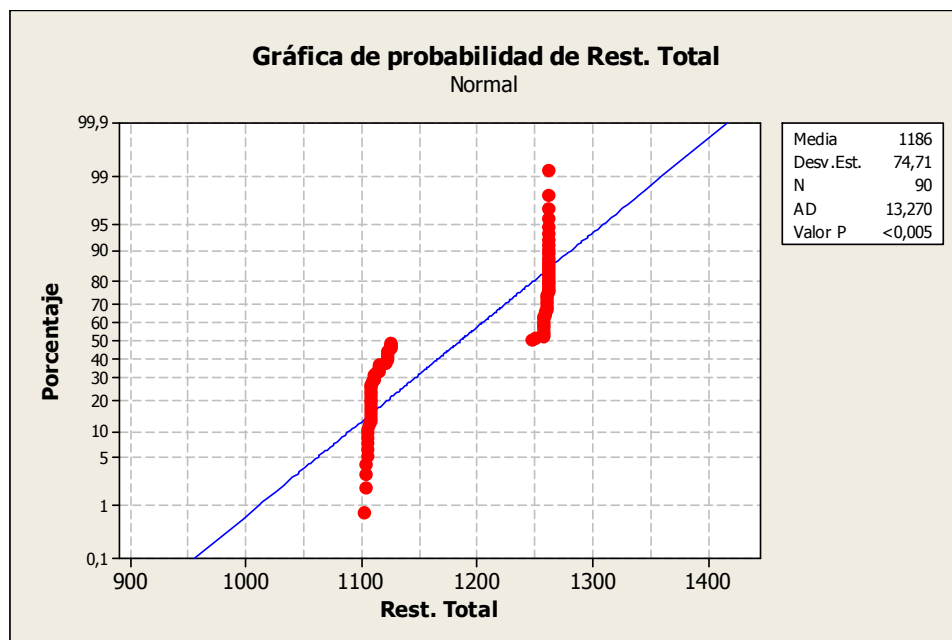


Figura 26. Grafica de prueba de normalidad ensayos mecánicos.

Como el valor de  $p$  es inferior a 0.05 podemos considerar que los datos no siguen una distribución normal. En todo caso por el teorema del límite central al tener una población mayor de 30 mediciones podemos considerar que la media sigue una normal.

#### 6.1.2 Comparación de los tratamientos térmicos

Comparando los datos del grupo 1 con el grupo 2 podemos analizar si el tratamiento térmico afecta a la resistencia a la tracción.

Nos interesa conocer si la media del grupo de experimentos 1.x es igual a la del grupo de experimentos 2.x.

### Hipótesis:

- $H_0 = \text{Media Rest.1} = \text{Media Rest.2}$
- $H_a = \text{Media Rest.1} \neq \text{Media Rest.2}$

### Resultados Minitab.

T de dos muestras para Rest 1 vs. Rest 2

|        | N  | Media   | Desv.Est. | Error estándar<br>de la media |
|--------|----|---------|-----------|-------------------------------|
| Rest 1 | 45 | 1260,02 | 2,96      | 0,44                          |
| Rest 2 | 45 | 1111,87 | 7,45      | 1,1                           |

Diferencia =  $\mu$  (Rest 1) -  $\mu$  (Rest 2)

Estimado de la diferencia: 148,16

IC de 95% para la diferencia: (145,76; 150,55)

Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 123,92 Valor P = 0,000 GL = 57

Como conclusión podemos decir que las medias de los dos grupos de experimentos no son iguales. Aunque podemos apreciar que la media del grupo 1.x es superior al grupo 2.x vamos a justificarlo.

### Resultados Minitab.

T de dos muestras para Rest 1 vs. Rest 2

|        | N  | Media   | Desv.Est. | Error estándar<br>de la media |
|--------|----|---------|-----------|-------------------------------|
| Rest 1 | 45 | 1260,02 | 2,96      | 0,44                          |
| Rest 2 | 45 | 1111,87 | 7,45      | 1,1                           |

Diferencia =  $\mu$  (Rest 1) -  $\mu$  (Rest 2)

Estimado de la diferencia: 148,16

Límite inferior 95% de la diferencia: 146,16

Prueba T de diferencia = 0 (vs. >): Valor T = 123,92 Valor P = 0,000 GL = 57

Como el valor p es inferior a 0,05 podemos afirmar que la media de resistencia del grupo 1.x es superior al del 2.x.

### 6.1.3 Resultados sin tratamiento térmico

En este apartado analizaremos los resultados del grupo de experimentos 1.x. Este grupo de experimentos se realizan sin tratamiento térmico. De este grupo de experimentos nos interesa comprobar si estamos dentro de los parámetros de especificación del cliente o no resistencia entre 1125  $\pm$  75 Mpa. Para ello vamos a realizar un test de hipótesis.

## Hipótesis:

- $H_0$  = Media Resistencia Tratamiento 1.x = 1125 Mpa
- $H_a$  = Media Resistencia Tratamiento 1.x  $\neq$  1125 Mpa

## Resultados Minitab.

Prueba de  $\mu = 1125$  vs.  $\neq 1125$

| Variable | N  | Media   | Desv.Est. | Error estándar de la media | IC de 95%          | T      | P     |
|----------|----|---------|-----------|----------------------------|--------------------|--------|-------|
| Rest 1   | 45 | 1260,02 | 2,96      | 0,44                       | (1259,13; 1260,91) | 306,21 | 0,000 |

Como el valor p es inferior a 0,05 podemos afirmar que la media no es 1125 Mpa, y si observamos el intervalo de confianza (1259,13; 1260,91) comprobamos que estamos fuera de especificación del cliente (1050; 1200).

Realizando un análisis de capacidad de los resultados obtenidos:

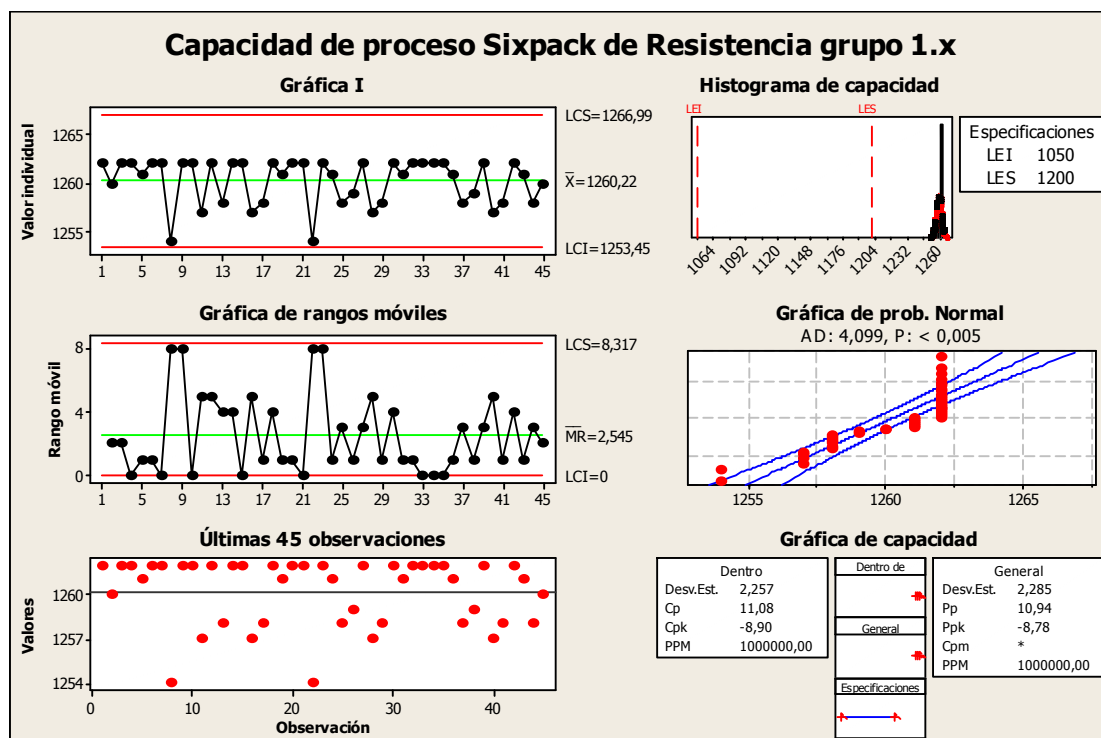


Figura 27. Capacidad de proceso de Resistencia grupo 1.x

### Conclusiones grupo de experimentos 1.x:

De la figura 27 podemos obtener las siguientes conclusiones:

Tenemos un proceso bajo control, como podemos apreciar en la gráfica I y muy capaz ( $C_p$  11,08) pero descentrado ( $C_{pk}$  -8,90). En el histograma podemos apreciarlo claramente nuestros datos están desviados por encima del límite superior de especificación del cliente (1050; 1200).

Por tanto el proceso sin tratamiento térmico no se podría entregar al cliente por fuera de especificación en resistencia a la tracción, igualmente nos interesa comprobar si la ausencia del factor horno afecta o no a los defectos superficiales.

### 6.1.4 Resultados con tratamiento térmico de recocido

En este apartado analizaremos los resultados del grupo de experimentos 2.x. Este grupo de experimentos se realiza con el proceso estándar de producción. De este grupo de experimentos nos interesa comprobar si estamos dentro de los parámetros de especificación del cliente o no resistencia entre 1125  $\pm$  75 Mpa.

Para ello vamos a realizar un test de hipótesis con:

#### Hipótesis:

- $H_0$  = Media Resistencia Tratamiento 2.x = 1125 Mpa
- $H_a$  = Media Resistencia Tratamiento 2.x  $\neq$  1125 Mpa

#### Resultados Minitab.

Prueba de  $\mu = 1125$  vs.  $\mu \neq 1125$

| Variable | N  | Media   | Desv.Est. | Error estándar |       | IC de 95%          | T      | P     |
|----------|----|---------|-----------|----------------|-------|--------------------|--------|-------|
|          |    |         |           | de la          | media |                    |        |       |
| Rest 2   | 45 | 1111,87 | 7,45      | 1,11           |       | (1109,63; 1114,11) | -11,82 | 0,000 |

Como el valor p es inferior a 0,05 podemos afirmar que la media es diferente a 1125 Mpa, por tanto la hipótesis alterna es la válida. Comprobando los intervalos de confianza (1109,63 ; 1114,11) podemos confirmar que el producto realizado con tratamiento térmico cumple con los requisitos del cliente (1050 ; 1200).

Realizando un análisis de capacidad del grupo 2.x obtenemos:

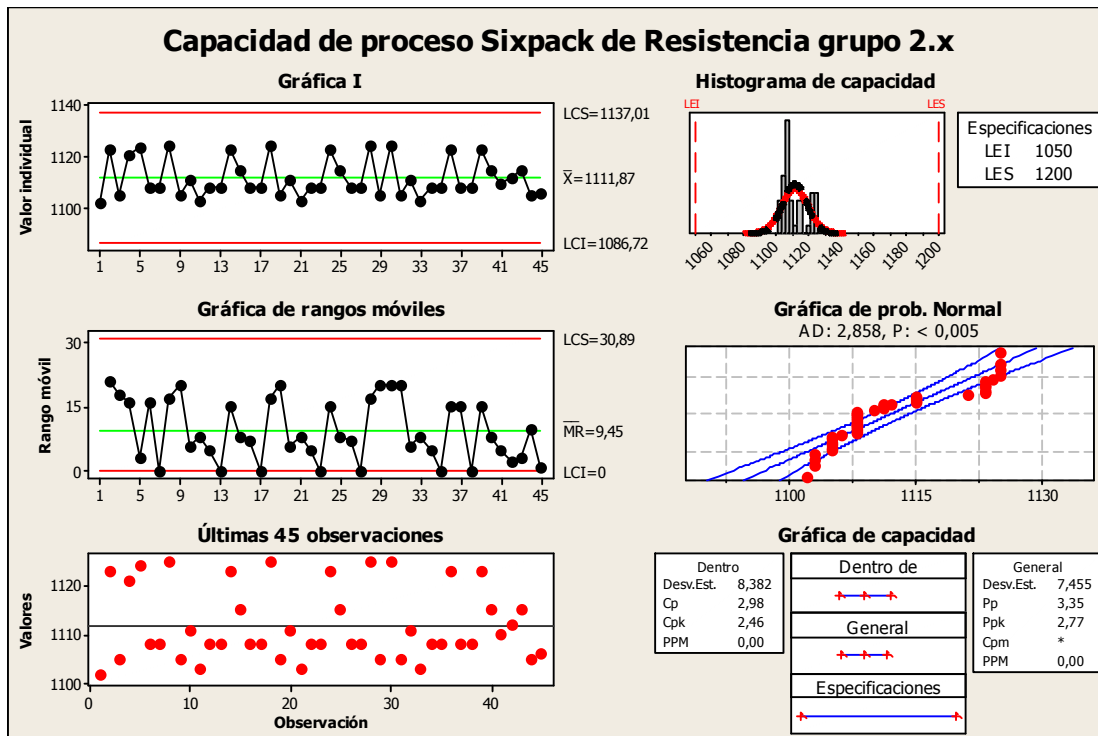


Fig.28. Capacidad de proceso de Resistencia grupo 2.x

## Conclusiones:

De la figura 22 podemos obtener las siguientes conclusiones:

Tenemos un proceso bajo control, como podemos apreciar en la gráfica I, capaz (Cp 2,98) y centrado (Cpk 2,46). En el histograma podemos apreciar que los datos están dentro de especificación del cliente (1050; 1200).

Por tanto el proceso con tratamiento térmico sería el que deberíamos realizar para cumplir con los requisitos de resistencia a la tracción del cliente.

## 6.2 Control de calidad dimensional: Análisis de resultados

Los datos para este análisis se encuentran en el apéndice G. Analizaremos los resultados dimensionales, con la tabla de diseños de experimentos anteriormente presentada, considerando que ninguno de los factores de experimentación afecta significativamente a las cotas dimensionales. Solamente un error humano de montaje o medición podría provocarlo. Primeramente realizaremos un análisis de normalidad de los datos obtenidos.

### 6.2.1 Análisis de normalidad de datos.

Realizando el análisis de normalidad de la muestra de 360 mediciones comprobar dimensionales obtenemos lo siguiente:

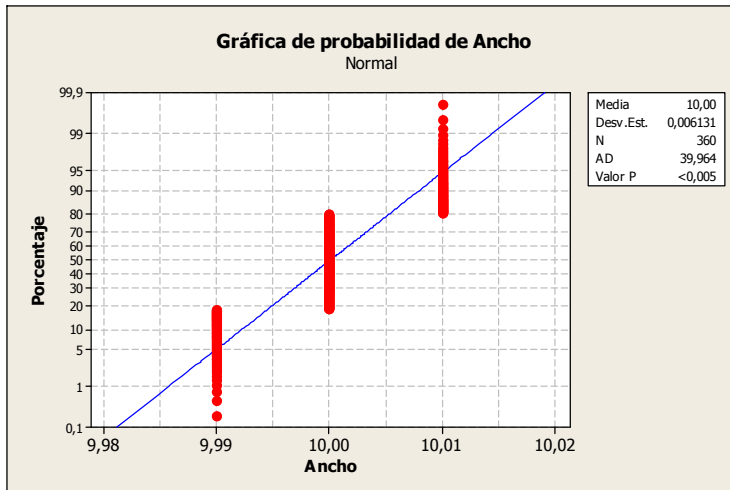


Figura 29. Grafica de prueba de normalidad cota ancho.

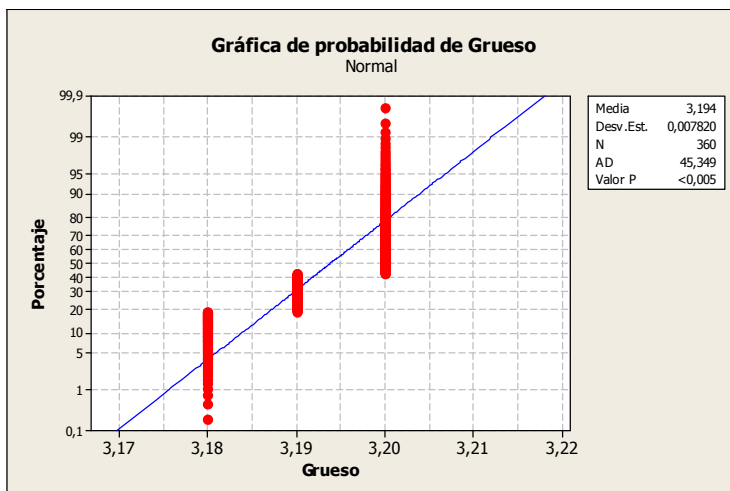


Figura 30. Grafica de prueba de normalidad cota grueso.

Como el valor de  $p$  es inferior a 0.05 en ambas cotas podemos considerar que los datos no siguen una distribución normal. Aunque deberíamos tener en cuenta que nuestro método de medición (micrómetro) está en escala centesimal y los valores entre 3,18 y 3,19 o 9,99 y 10.00 no es capaz de medirlo. En todo caso por el teorema del límite central al tener una población mayor de 30 mediciones podemos considerar que la media sigue una normal.



## Estudio dimensional cota ancho

El objetivo del estudio es comprobar que la dimensión de ancho cumple con las especificaciones del cliente para ello vamos a realizar un test de hipótesis de medias:

### Hipótesis:

- $H_0$  = Media Ancho = 10.00 mm.
- $H_a$  = Media Ancho  $\neq$  10.00 mm.

### Resultados Minitab

Prueba de  $\mu = 10$  vs.  $\neq 10$

| Variable | N   | Media   | Desv.Est. | Error estándar<br>de la media | IC de 95%         | T    | P     |
|----------|-----|---------|-----------|-------------------------------|-------------------|------|-------|
| Ancho    | 360 | 10,0001 | 0,0061    | 0,0003                        | (9,9995; 10,0008) | 0,43 | 0,668 |

Al tener un valor de p superior a 0,05 podemos afirmar que la hipótesis  $H_0$  es la válida. Y como nuestro intervalo de confianza (9,9995; 10,0008) es inferior a la tolerancia del cliente (9,97; 10,03) podemos afirmar que cumplimos con la cota de ancho. Una vez comprobado realizaremos un estudio de capacidad de los datos obtenidos:

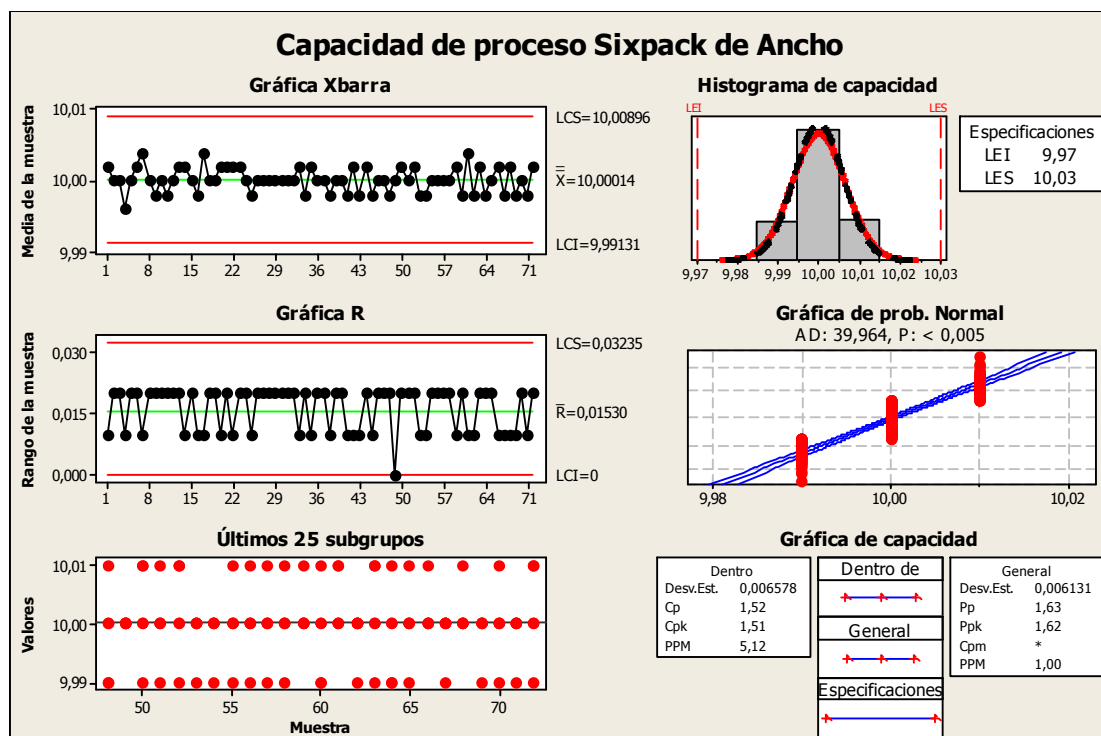


Figura 31. Capacidad de proceso dimensión ancho.

## Conclusiones

De la figura 31 podemos obtener las siguientes conclusiones:

Tenemos un proceso bajo control como podemos observar en la gráfica I, capaz ( $C_p$  1,52) y centrado ( $C_{pk}$  1,51). Podemos comprobar la distribución de datos uniforme en el histograma.

## Estudio dimensional cota grueso

El objetivo del estudio es comprobar que la dimensión de grueso cumple con las especificaciones del cliente para ello vamos a realizar un test de hipótesis de medias:

### Hipótesis:

- $H_0$  = Media Grueso = 3.20 mm.
- $H_a$  = Media Grueso  $\neq$  3.20 mm.

## Resultados Minitab

Prueba de  $\mu = 3,2$  vs.  $\mu \neq 3,2$

| Variable | N   | Media   | Desv.Est. | Error estándar<br>de la media | IC de 95%          | T      | P     |
|----------|-----|---------|-----------|-------------------------------|--------------------|--------|-------|
| Grueso   | 360 | 3,19389 | 0,00782   | 0,00041                       | (3,19308; 3,19470) | -14,83 | 0,000 |

Como el valor p es inferior a 0,05 podemos afirmar que la hipótesis valida es la  $H_a$ , la mediana de grueso es diferente a 3.20. A su vez como nuestro intervalo de confianza (3,19308 ; 3,19470) es inferior a la tolerancia del cliente (3,17 ; 3,23) podemos afirmar que cumplimos con la cota de grueso.

Una vez comprobado que cumplimos la especificación de grueso estudiaremos la capacidad del proceso y los gráficos.

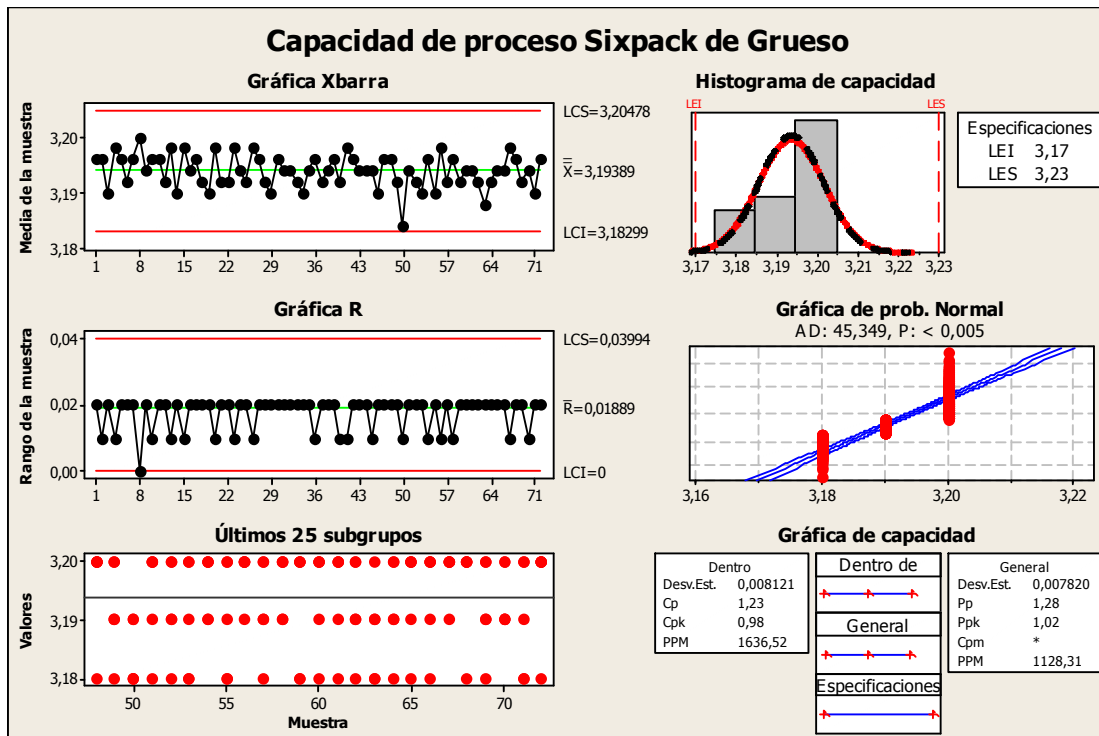


Figura 32. Capacidad de proceso dimensión grueso.

## Conclusiones

De la figura 32 podemos obtener las siguientes conclusiones:

Tenemos un proceso bajo control como podemos observar en la gráfica I, con un Cp 1,23 que nos indica que nuestro proceso no es capaz y tenemos una parte de la población fuera de los límites y descentrado con un Cpk 0,98. En el histograma podemos apreciar claramente la desviación de los datos hacia el límite inferior de control.

## 6.3 Control de calidad superficial: Análisis de resultados

Los datos del control superficial están presentes en el apéndice E. En el caso del control de calidad superficial tenemos como requerimiento de cliente:

- Número máximo de defectos por varilla 10.

El objetivo es estudiar la distribución de cantidad de defectos por varilla e intentar realizar una predicción de distribución de defectos según los factores horno, proceso pulido A y proceso de pulido B.

La variable defectos es un contador, por tanto no podemos aplicar el método lineal ANOVA. En primer lugar se estudiará la aplicación del método de los modelos lineales generalizados (MLG's) a nuestros datos de defectos. Dado que la variable contador de defectos contiene un gran número de ceros se justificará la necesidad de la aplicación de otro método Poisson inflado con ceros (PIC).

### **6.3.1 Objetivos del análisis de defectos superficiales**

En nuestro caso nos interesaría poder aplicar un modelo que pudiera predecir el número de defectos en función de la aplicación de los factores horno – pulidora.

Factores:

- Horno:
  - Horno1: Proceso sin tratamiento térmico de recocido.
  - Horno2: Proceso con tratamiento térmico de recocido.
- Pulidora:
  - Pulido1: Proceso sin pulido.
  - Pulido2: Proceso con tratamiento de Pulido A
  - Pulido3: Proceso con tratamiento de Pulido B

### **6.3.2 Exploración de datos defectos superficiales**

De la observación de los datos obtenemos el primer resultado ya que del análisis causa-efecto aparecieron seis defectos tipo y en los experimentos obtenemos solamente cuatro. Por tanto podemos considerar que los defectos grieta y color no son significativos.

También de una observación podemos comprobar que tenemos muchos campos cero, que para realizar el estudio del método de análisis nos pueden perjudicar. Comprobaremos de una manera gráfica si son significativos o no.

### Histogramas número defectos por tipo y número total de defectos

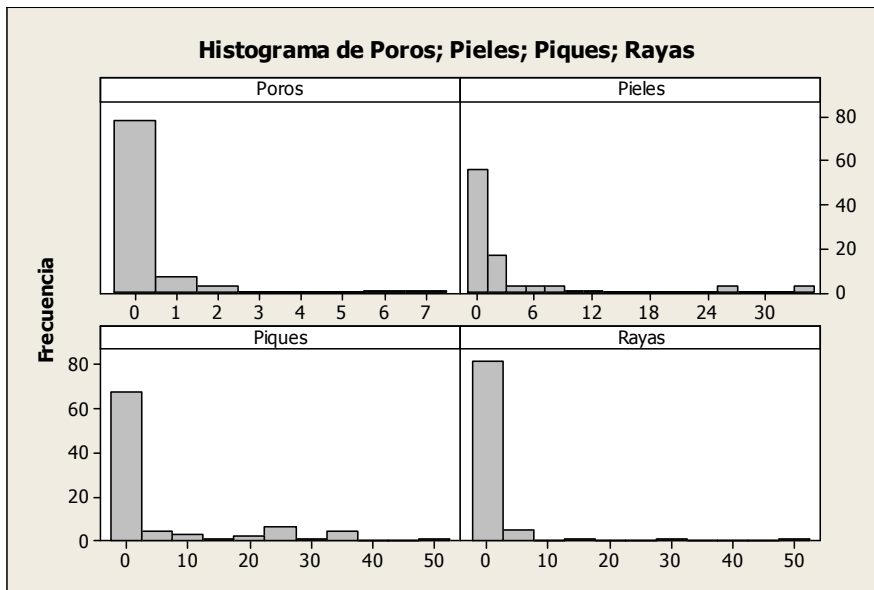


Figura 33. Histograma número de defectos por tipo.

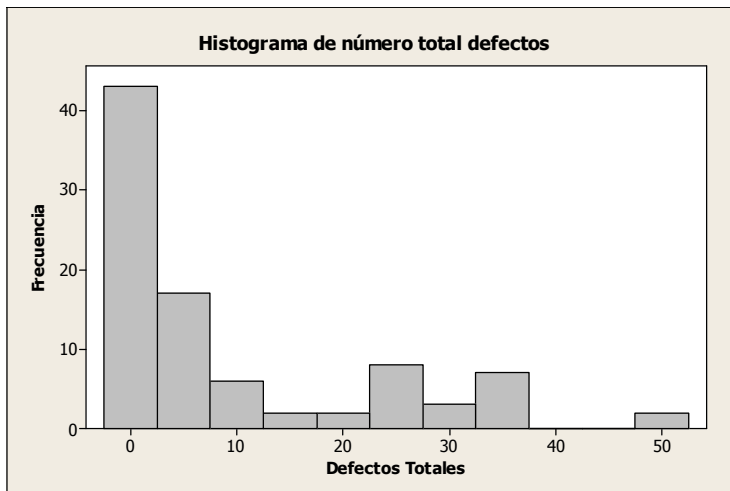


Figura 34. Histograma número total de defectos.

### Gráfica de puntos de Defectos

The dot plot displays the distribution of defects for three polishing methods under two conditions. The x-axis represents the number of defects, ranging from 0 to 50. The y-axis lists the conditions and methods.

| Condición      | Método   | Defectos |
|----------------|----------|----------|
| SinTratamiento | NoPulido | 0        |
|                |          | 1        |
|                |          | 2        |
|                | PulidoA  | 0        |
|                |          | 1        |
|                |          | 2        |
|                | PulidoB  | 0        |
|                |          | 1        |
|                |          | 2        |
| ConTratamiento | NoPulido | 0        |
|                |          | 1        |
|                |          | 2        |
|                | PulidoA  | 0        |
|                |          | 1        |
|                |          | 2        |
|                | PulidoB  | 0        |
|                |          | 1        |
|                |          | 2        |

De la observación de defectos comprobamos que tenemos una gran cantidad de ceros presentes. Esto provoca que la muestra no siga una distribución de Poisson y por lo tanto el MLG no sería válido.

## Modelo lineal generalizado (MLG)

Una alternativa distinta es usar el modelo lineal general. Un modelo lineal general (MLG) es un modelo de regresión constituido por un componente aleatorio (término error), una función de factores de diseño (las  $X$ 's del proceso) y los parámetros desconocidos (las  $\beta$ ). En un modelo de regresión lineal la teoría normal estándar se escribe:

Donde se supone que el término del error  $\varepsilon$  tiene una distribución normal con media cero y varianza constante y la media de la variable respuesta y es:

$$E(y) = \mu = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_k x_k = x' \beta$$

Este término  $x' \beta$  se denomina predictor lineal. En un modelo lineal generalizado, la variable respuesta puede tener cualquier distribución que sea miembro de la familia exponencial. Esta familia incluye las distribuciones normal, de Poisson, binomial, exponencial y gamma. Además, la relación entre la media de la respuesta  $\mu$  y el predictor lineal  $x' \beta$  se determina por una función de enlace.

$$g(\mu) = x' \beta$$

El modelo de regresión que representa la respuesta media está dado entonces por

$$E(y) = \mu = g^{-1}(x' \beta)$$

Por ejemplo, a la función de enlace que lleva el modelo de regresión lineal ordinario en la ecuación se le llama enlace identidad, ya que  $\mu = g^{-1}(x' \beta) = x' \beta$ . Como otro ejemplo, el enlace log (logarítmico)  $\ln(\mu) = x' \beta$  produce el modelo  $\mu = e^{x' \beta}$ .

El enlace logarítmico se usa con frecuencia con datos de conteos (respuestas de Poisson). Otra función de enlace importante que se usa con datos binomiales es el enlace logit.

$$\ln\left(\frac{\mu}{1-\mu}\right) = x' \beta$$

Esta elección de la función de enlace lleva al modelo

$$\mu = \frac{1}{1 + e^{-x' \beta}}$$

Para usar un modelo lineal generalizado se debe especificar una distribución de la respuesta y una función de enlace y después se hace el ajuste del modelo.

### **Modelo Poisson inflado con ceros (PIC)**

El llamado modelo de regresión *Poisson Inflado con Ceros* (PIC) es el más usado para datos de conteo con exceso de ceros. Este modelo fue propuesto por Lambert (1992). En estos modelos los ceros se dividen en dos grupos, uno tiene los ceros procedentes de la distribución que genera a la variable respuesta de Poisson, el otro grupo tiene a los ceros "extra". Un cero del primer grupo ocurre con probabilidad  $1 - p$  y los ceros extra ocurren con

probabilidad  $p$ . Lambert (1992), Welsh (1996), y Böhning (1999) presentan aplicaciones del modelo PIC.

En este modelo la variable respuesta se distribuye como una distribución en dos partes: una distribución para el valor 0 y otra para el resto de valores positivos mayor que 0.

Sea  $Y = (Y_1, \dots, Y_n)^T$  el vector de la variable respuesta. El modelo de regresión Poisson inflado con ceros (PIC) supone que las  $Y_i$  son independientes con la siguiente distribución

$Y_i = 0$  con probabilidad  $p_i$ ,

$Y_i \sim \text{Poisson}(\lambda_i)$  con probabilidad  $1 - p_i$

De tal manera que la función de masa de probabilidad de  $Y_i$  es

$$P(Y_i = y) = \begin{cases} p_i + (1 - p_i)e^{-\lambda_i}, & \text{para } y = 0 \\ (1 - p_i) \frac{e^{-\lambda_i} \lambda_i^y}{y!}, & \text{para } y = 1, 2, \dots \end{cases}$$

Denotamos lo anterior por  $Y_i \sim \text{PIC}(p_i, \lambda_i)$  La variable respuesta se modela mediante los parámetros del modelo

$$\begin{aligned} \lambda &= (\lambda_1, \dots, \lambda_n)^T \\ p &= (p_1, \dots, p_n)^T \end{aligned}$$

Se supone que estos parámetros dependen de las covariables a través de un modelo lineal generalizado. Es decir, se supone que

$$\begin{aligned} \log(\lambda) &= (\log(\lambda_1), \dots, \log(\lambda_n))^T = \mathbf{B}\beta \\ \text{logit}(p) &= (\text{logit}(p_1), \dots, \text{logit}(p_n))^T = \mathbf{G}\gamma \end{aligned}$$

donde  $\beta$  y  $\gamma$  son parámetros desconocidos, y  $\mathbf{B}$  y  $\mathbf{G}$  son matrices con las covariables.

Los parámetros del modelo regresión PIC aplicados a nuestro modelo son:

$$\text{Log}(\lambda_i) = \beta_{0i} + \beta_{1i}\text{Horno1} + \beta_{2i}\text{Horno2} + \beta_{3i}\text{Pulidora1} + \beta_{4i}\text{Pulidora2} + \beta_{5i}\text{Pulidora3}$$

$$\text{Logit}(p_i) = \gamma_{0i} + \gamma_{1i}\text{Horno1} + \gamma_{2i}\text{Horno2} + \gamma_{3i}\text{Pulidora1} + \gamma_{4i}\text{Pulidora2} + \gamma_{5i}\text{Pulidora3}$$



### 6.3.4 MLG y PIC con R

En R, los datos de tipo conteo se pueden modelar de manera muy elegante mediante el uso de GLM con una distribución de errores de tipo Poisson (`family = poisson`) y función de vínculo (`link = log`). La función de vínculo de tipo logarítmico asegura que todos los valores predichos sean positivos, mientras que la distribución de errores de tipo Poisson tiene en cuenta el hecho de que los datos son enteros y que la varianza aumenta proporcionalmente a la media.

En el caso de un MLG escogeríamos la siguiente estructura de errores y función de vínculo:

- Distribución de Errores: Poisson
- Función de vínculo: Logarítmica

Para el modelo de regresión Poisson inflado con ceros tenemos:

- Distribución de Errores: Poisson
- Función de vínculo: Logarítmica y Logit.

Hasta ahora en el proyecto he trabajado con el software Minitab, pero el módulo de métodos lineales generalizados es insuficiente para trabajar en nuestros experimentos. Principalmente porque no tiene la capacidad de realizar un análisis PIC.

Para ello utilizaremos el lenguaje de programación R, y el programa auxiliar Rstudio. Este lenguaje nos facilita la tarea al poder realizar la programación de las distribuciones y aplicarlas directamente. También comentar que dispone de funciones específicas para el tipo de distribución PIC.

A modo de análisis de las ventajas de realizar el ajuste al método PIC realizaré la evaluación de los modelos con aplicación del método lineal generalizado (MLG) y a posterior con PIC.

En R la función `glm()` viene especificada por los siguientes argumentos

```
> args(glm)
function (formula, family = gaussian, data, weights, subset,
na.action, start = NULL, etastart, mustart, offset, control = list(...),
model = TRUE, method = "glm.fit", x = FALSE, y = TRUE, contrasts =
NULL,
... )
NULL
```

Donde fórmula es una fórmula que especifica el modelo siguiendo la lógica de los modelos lineales especificados por la función `lm()` y `family` es la familia de errores de la distribución especificada de la siguiente forma:

- Binomial (`link="logit"`)
- Gaussian(`link="identity"`)
- Gamma(`link="inverse"`)
- Inverse.gaussian(`link="1/mu^2"`)
- Poisson(`link="log"`)
- Quasi(`link="identity",variance="constant"`)
- Quasibinomial(`link="logit"`)
- Quasipoisson(`link="log"`)

Si la función de vínculo (`link`) no se especifica, la primera opción de la lista es tomada como opción predeterminada en cada caso. Como en el caso de las funciones `lm()`, podemos acceder fácilmente al resultado de un modelo `glm()` con las funciones `summary()` y `anova()`. En el apéndice aparece el programa completo en R. Primero realizaremos un ajuste a un modelo lineal general:

## MLG Poisson en R

### Datos obtenidos del programa R:

Call:

```
glm(formula = defectos ~ horno + pulidora, family = poisson,
    data = tabla)
```

Deviance Residuals:

| Min    | 1Q     | Median | 3Q    | Max   |
|--------|--------|--------|-------|-------|
| -5.558 | -3.444 | -2.319 | 1.572 | 7.406 |

Coefficients:

|             | Estimate | Std. Error | z value | Pr(> z )     |
|-------------|----------|------------|---------|--------------|
| (Intercept) | 1.98371  | 0.07966    | 24.903  | < 2e-16 ***  |
| horno2      | -0.47291 | 0.06869    | -6.884  | 5.80e-12 *** |
| pulidora2   | 0.66158  | 0.09255    | 7.148   | 8.77e-13 *** |
| pulidora3   | 0.75344  | 0.09116    | 8.265   | < 2e-16 ***  |

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

Null deviance: 1361.2 on 89 degrees of freedom  
Residual deviance: 1229.6 on 86 degrees of freedom  
AIC: 1502.6

Number of Fisher Scoring iterations: 6

La función para la distribución PIC en R es la denominada `zeroinfl()`. En esta función los argumentos que debemos especificar son `formula` y `data`. Donde fórmula es una fórmula que especifica el modelo siguiendo la lógica de los modelos lineales y `data` es la variable de tabla que queremos analizar.

Realizando el ajuste aplicando el método Poisson inflado con ceros:

### **PICen R**

#### **Datos obtenidos del programa R:**

call:

```
zeroinfl(formula = Defectos ~ Horno + Pulidora, data = tabla)
```

Pearson residuals:

|  | Min     | 1Q      | Median  | 3Q     | Max    |
|--|---------|---------|---------|--------|--------|
|  | -2.5850 | -1.4664 | -1.0662 | 0.8886 | 5.6296 |

Count model coefficients (poisson with log link):

|             | Estimate | Std. Error | z value | Pr(> z )     |
|-------------|----------|------------|---------|--------------|
| (Intercept) | 2.29284  | 0.07859    | 29.173  | < 2e-16 ***  |
| Horno2      | -0.42886 | 0.06877    | -6.236  | 4.49e-10 *** |
| Pulidora2   | 0.50921  | 0.09275    | 5.490   | 4.01e-08 *** |
| Pulidora3   | 0.55359  | 0.09130    | 6.064   | 1.33e-09 *** |

Zero-inflation model coefficients (binomial with logit link):

|             | Estimate | Std. Error | z value | Pr(> z ) |
|-------------|----------|------------|---------|----------|
| (Intercept) | -1.0894  | 0.5039     | -2.162  | 0.0306 * |
| Horno2      | 0.4573   | 0.5591     | 0.818   | 0.4134   |
| Pulidora2   | -0.7662  | 0.6350     | -1.207  | 0.2276   |
| Pulidora3   | -1.3574  | 0.7307     | -1.858  | 0.0632 . |

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Number of iterations in BFGS optimization: 14

Log-likelihood: -619.2 on 8 Df

### Comparación modelo MLG con PIC

El Vuong Non-Nested test está basado en la comparación de la probabilidades de los predictores de los dos modelos sobre los que se realiza el test. Como ejemplo se puede utilizar para comparar la aplicación de modelo lineal generalizado con el modelo PIC,

Vuong Non-Nested Hypothesis Test-Statistic: -3.320674  
(test-statistic is asymptotically distributed  $N(0,1)$  under the null that the models are indistinguishable)  
in this case:  
model2 > model1, with p-value 0.0004490016

### Conclusión de la comparación de modelos MLG y PIC

El método Vuong test nos indica una referencia comparativa entre dos modelos. En nuestro caso comparamos modelo1 (MLG) con modelo 2(PIC) y nos demuestra que el modelo Poisson inflado con ceros (PIC) es mejor en relación al modelo general lineal.

Por tanto este será el modelo que utilizaremos para obtener los resultados del control de calidad de defectos superficiales.

#### 6.3.4.1 Análisis de residuos frente a valores predictivos

Este es el diagrama de residuos frente a valores predictivos.

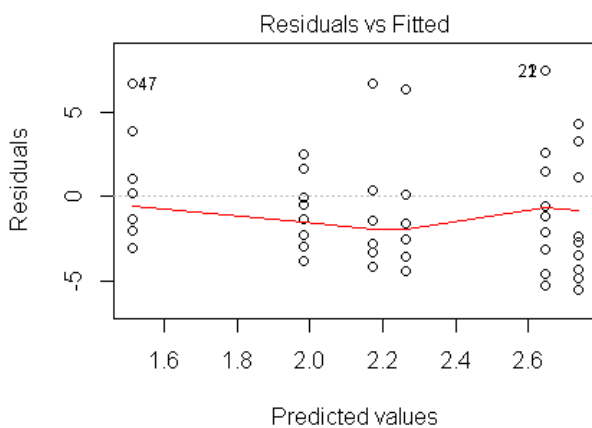


Figura 36. Diagrama valores residuos respecto predictivos

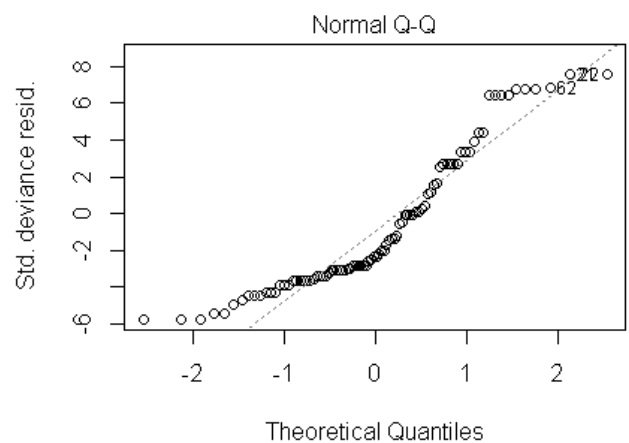


Figura 37. Diagrama normalidad residuos-quartiles

Con estos gráficos podemos comprobar que los residuos están distribuidos homogéneamente respecto al 0, y las desviaciones residuales se aproximan a una normal

## Simulación del modelo para la evaluación de defectos

En este apartado vamos a realizar una simulación predictiva del modelo. Mediante un programa creado en R (Apéndice H) podemos graficar como afectan los factores a la presencia de defectos en una varilla.

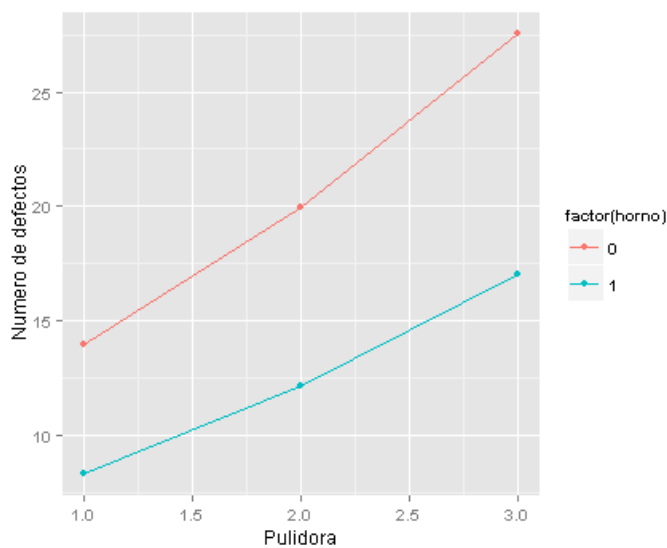


Figura 38. Gráfica predictiva número de defectos factores proceso pulidora y horno.

## Consideramos

Horno factor 0: Proceso sin tratamiento térmico.

Horno factor 1: Proceso con tratamiento térmico.

Pulidora 1: Proceso sin tratamiento de pulido.

Pulidora 2: Proceso Pulido A.

Pulidora 3: Proceso Pulido B

## Conclusiones:

Del análisis predictivo podemos proponer el proceso Horno 1 y Pulido 1 como los factores que crearán menos defectos en el material. Por otra parte también será una reducción de coste de proceso debido a que el factor pulido 1 es la ausencia del paso de pulido. Tendremos dos mejoras a la vez, una de superficie y otra de coste. También debemos

comentar que la predicción de defectos superficiales obtenida nos permitiría estar dentro de especificación del cliente, al ser inferior a 10 defectos por varilla.

Como hemos podido observar el análisis Poisson inflado con ceros (PIC) nos da unas mejores aproximaciones que los métodos lineales generales (MLG). Esta parte del trabajo ha sido la que ha representado más trabajo personal, primero realizando análisis MLG en Minitab, sin obtener resultados satisfactorios. A posterior gracias a la información del programa R y el estudio de su programación he conseguido obtener unos resultados satisfactorios, tanto en MLG como en PIC.

A su vez también he podido realizar la simulación predictiva de la presencia de defectos en las muestras. Esto ha representado la creación de un programa predictivo en R.

Del análisis predictivo podemos proponer el proceso Horno 1 y Pulido 1 como los factores que crearán menos defectos en el material. Por otra parte también será una reducción de coste de proceso debido a que el factor pulido 1 es la ausencia del paso de pulido. Tendremos dos mejoras a la vez, una de superficie y otra de coste. También debemos comentar que la predicción de defectos superficiales obtenida nos permitiría estar dentro de especificación del cliente, al ser inferior a 10 defectos por varilla.

## 7 Conclusiones y propuesta de mejora

Para finalizar el trabajo realizaremos una propuesta de modificación del proceso para obtener los resultados de mejora de merma. De los controles de calidad realizados obtenemos las siguientes conclusiones:

**Control de calidad mecánico:** de nuestro estudio queda confirmada la necesidad de realizar un proceso con tratamiento térmico para obtener la especificación del cliente de resistencia a la tracción.

**Control de calidad dimensional:** de nuestro estudio los valores dimensionales de ancho cumplen los requerimientos. Se han de realizar ajustes en la cota dimensional de grueso debido a que tenemos la población desviada hacia la parte inferior de la tolerancia y tenemos un 0.11% posible fuera de tolerancia.

**Control de calidad superficial:** En la evaluación del modelo de predicción hemos obtenido el resultado siguiente: del análisis predictivo podemos proponer el proceso Horno 1 (con tratamiento térmico) y Pulido 1(sin proceso de pulido) como los factores que crearán menos defectos en el material. Por otra parte también será una reducción de coste de proceso debido a que el factor pulido 1 es la ausencia del paso de pulido. Tendremos dos mejoras a la vez, una de calidad y otra de coste.

### Propuesta de mejora:

De los resultados obtenidos propongo realizar la siguiente modificación de proceso para el perfil 81-1266: realizar el proceso de tratamiento térmico sin proceso de pulido.

Una vez realizado esta modificación sería importante comprobar que la estimación del modelo es la correcta. Con la siguiente orden de producción deberíamos realizar un control y obtener información para poder re-evaluar el modelo.

Dentro del proceso de mejora continua esta parte sería la que confirmaría o no que nuestro modelo es válido. Una vez confirmado podríamos extrapolar este cambio de proceso a los otros perfiles de la familia de cadena de reloj.

## 8 Presupuesto del proyecto

El presupuesto del proyecto sería el siguiente, basado en una estimación de horas involucradas:

| Denominación       | Horas | Coste unitario (euros/hora) | Coste(euros) |
|--------------------|-------|-----------------------------|--------------|
| Coste Material     |       |                             | 8325         |
| Horas Operario     | 23    | 36                          | 828          |
| Control de calidad | 36    | 47                          | 1692         |
| Ingeniería         | 110   | 36                          | 3960         |

|              |                 |
|--------------|-----------------|
| Subtotal     | 14805           |
| IVA (21%)    | 3109,05         |
| <b>Total</b> | <b>17914,05</b> |

## 9 Bibliografía

An Introduction to R: Notes on R: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics W. N. Venables, D. M. Smith and the R Core Team (2002)

Diseño y análisis de experimentos. Douglas C. Montgomery. Editorial Limusa S.A (2005).

Fundamentos de estadística. Daniel Peña Sánchez de Rivera. Alianza Editorial. (2008)

Generalized additive modeling and zero inflated count data. Ecological Modelling. Barry, S.C., and Welsh, A.H. (2002).

Métodos Estadísticos Control y mejora de la calidad. Albert Prat. Ediciones UPC.(1997).

Modelos lineales generalizados (GLM). Luis Cayuela. Universidad de Granada. (2010)

Modelling correlated zero inflated count data. Australian and New Zealand Journal of Statistics. Dobbie, M.J., and Welsh, A.H. (2001).

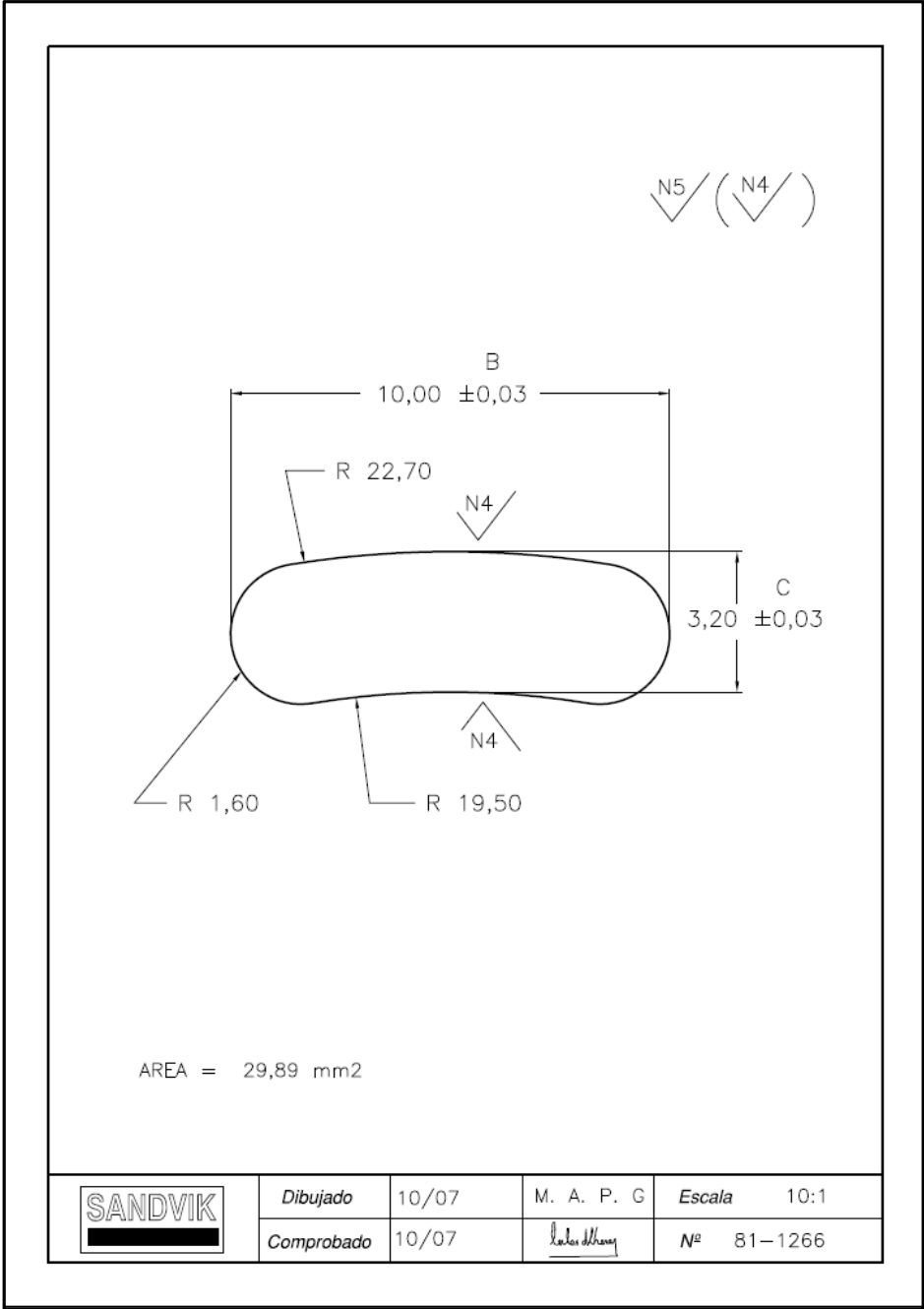
Overdispersion: models and estimation. Computational Statistics and Data Analysis. Hinde, J., and Demétrio, C.G.B (1998).

Zero-Inflated Poisson Regression with an Application to Defects in Manufacturing. *Technometrics*, Lambert, D. (1992)



10Apéndice

Apéndice A: Plano de producción 81-1266



## Apéndice B: Plan de control perfil 81-1266

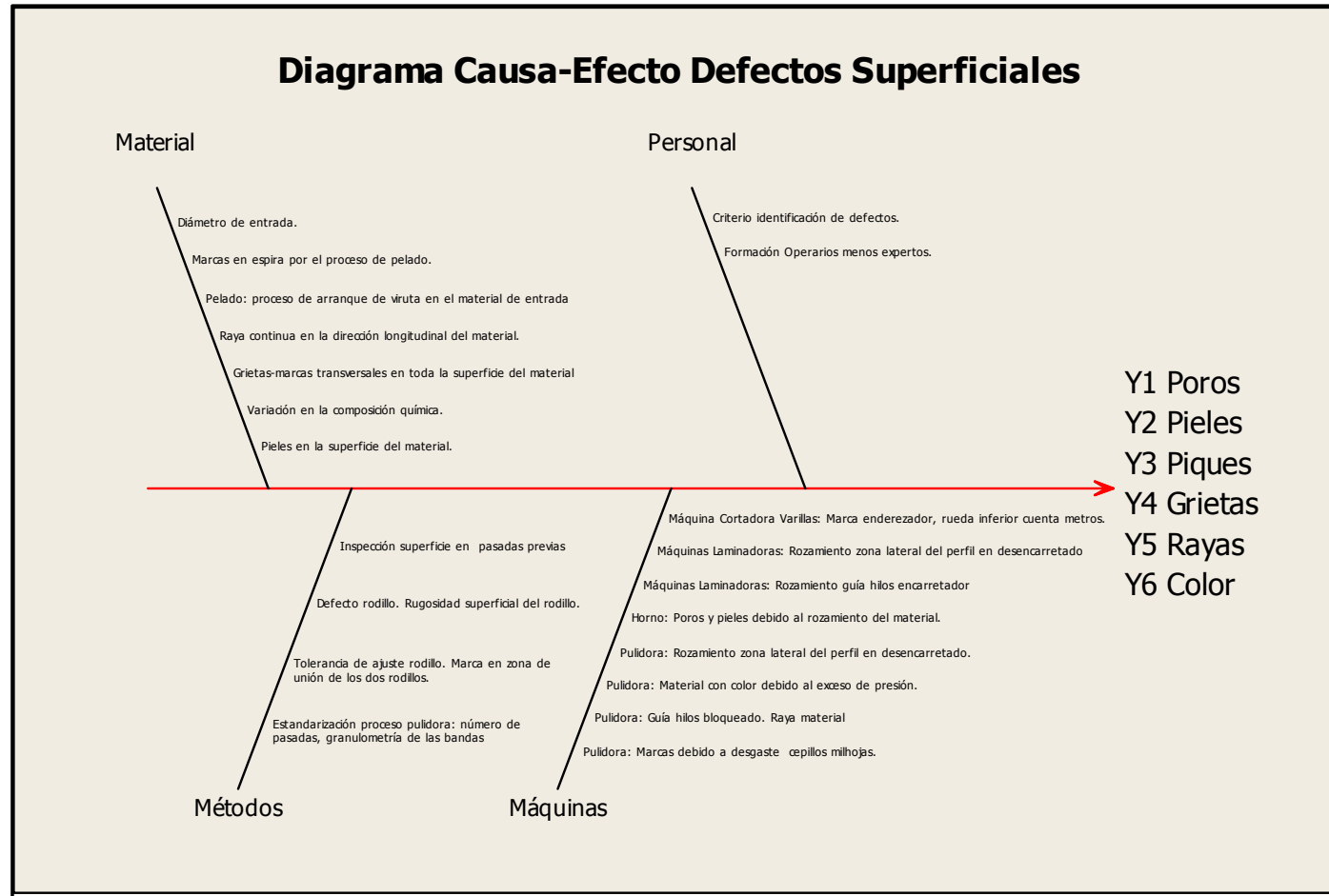
| SANDVIK<br>SANDVIK ESPAÑA S.A.     |                  | PLAN DE CONTROL                                               |                                                        |                              |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                   |                                                |                   |                                                                |                                                                          |
|------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| CATAL CODE                         |                  | ESPECIFICACIÓN                                                |                                                        | ULTIMOS CAMBIOS EFECTUADOS:  |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                   | PLAN N°                                        |                   | REV                                                            |                                                                          |
| WIMS-2RK65HV-81-1266-L-M           |                  | PRM1247CA 0.1; MTR0009NF 1.0; EXF0214DA00; CDL0023NA1.0       |                                                        |                              |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                   | PC-FCR-WIMS-2RK65HV-81-1266-L-M                |                   | 0                                                              |                                                                          |
| GRUPO DE TRABAJO                   |                  |                                                               |                                                        | APROBACION                   |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                   | FECHA                                          |                   |                                                                |                                                                          |
| M. Dolores Sánchez, Óscar Martínez |                  |                                                               |                                                        | Quality Mng/ Dolores Sánchez |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                   | 24/05/2011                                     |                   |                                                                |                                                                          |
| Nº                                 | PROCESO          | MÁQUINA/MEDANIMO/<br>PLANTILLA/UTILES USADOS EN EL<br>PROCESO | CARACTERÍSTICAS                                        | CLASE/<br>CARAC.<br>SÍMBOLO  | ESPECIFICACIÓN<br>TOLERANCIA DEL PRODUCTO / PROCESO | REALIZADO<br>POR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | MUESTRA<br>TAMAÑO | FRECUENCIA                                     | METODO DE CONTROL | REGISTRO                                                       |                                                                          |
|                                    | Inspección final | N/A                                                           | Tamaño de Grano                                        | -                            | C                                                   | Será de tamaño $\geq 7$ .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Lab Ext           | 1 Muestras -<br>min 8 cm                       | 100 % lote        | ASTM E 112                                                     | Certificado<br>Laboratorio                                               |
|                                    | Inspección final | Máquina Tracción                                              | Requerimientos Mecánicos:<br>Resistencia a la Tracción |                              | C                                                   | Min 1050 Mpa - Máx 1200 Mpa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | SQCI              | 4                                              | 100% Lotes        | distancia mordazas 120mm,<br>velocidad 10mm/min<br>AREA= 29,99 | Hoja Verificación                                                        |
|                                    | Inspección final | Máquina Tracción                                              | Requerimientos Mecánicos:<br>Alargamiento              |                              | C                                                   | $\geq 4 \%$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | SQCI              | 4                                              | 100% Lotes        | Lc=50mm distancia<br>mordazas 120mm,<br>velocidad 10mm/min     | Hoja Verificación                                                        |
|                                    | Inspección final | Rugosímetro HOMMER<br>TESTER T 1000                           | Requerimientos Superficiales<br>(Ra)                   | -                            | C                                                   | (NS) Ra $\leq 0,4 \mu\text{m}$<br>Rmax = $2,5 \mu\text{m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | SQCI              | 4                                              | 100% Lotes        | Lc=0,25<br>Lr=1,5                                              | Hoja Verificación<br>Anotar rango Máx<br>y Min                           |
|                                    | Inspección final | N/A                                                           | Examen superficie                                      | -                            |                                                     | IT - LA - ENS - 02                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | SQCI              | 100 %                                          | 100 % lote        | Visual                                                         | Hoja Verificación                                                        |
|                                    | Inspección final | N/A                                                           | Ancho y Grueso                                         | -                            |                                                     | 10,00 (+/-0,03) x 3,20 (+/-0,03)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | SQCI              | 100 %                                          | 100% Lotes        | Dimensional:<br>Pasa/ No Pasa.                                 | Hoja Verificación<br>Registrar 25<br>lecturas. Anotar<br>rango Máx y Min |
|                                    | Inspección final | N/A                                                           | Longitud de la Varilla                                 |                              |                                                     | 2800 mm ( +/- 100mm).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | SQCI              | Muestreo AQL<br>( Nivel I, 1%,<br>reducida)    | 100 % lote        | Dimensional:<br>Pasa/ No Pasa.                                 | Hoja Verificación<br>Anotar rango Máx<br>y Min                           |
|                                    | Inspección final | N/A                                                           | Rectitud                                               | -                            | C                                                   | Rectitud máxima:<br>$\leq 0,3 \text{ mm} / 100\text{mm}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | SQCI              | Muestreo AQL<br>( Nivel II, 1%,<br>reducida) . | 100% Lotes        | Dimensional:<br>Pasa/ No Pasa.                                 | Hoja Verificación<br>Anotar<br>porcentajes(%)                            |
|                                    | Inspección final | N/A                                                           | Alabeo y Flecha                                        | -                            |                                                     | Alabeo máximo:<br>$\leq 10^\circ / \text{m}$<br>Flecha máxima:<br>$\leq 12\text{mm/m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                   | SQCI              | Muestreo AQL<br>( Nivel I, 1%,<br>reducida)    | 100% Lotes        | Dimensional:<br>Pasa/ No Pasa.                                 | Hoja Verificación<br>Anotar rango Máx<br>y Min                           |
|                                    | Certificado      | N/A                                                           | Contenido del Certificado                              |                              |                                                     | 1-Composición química<br>2-Tamaño de grano<br>3-Control dimensional:<br>-Ancho y grueso (máx y mín)<br>-Rectitud (%)<br>-Longitud varilla (máx y mín)<br>4-Propiedades Mecánicas:<br>-Resistencia<br>-Alargamiento Lc=50<br>5-Rugosidad<br>6-Número colada<br>7-Número de lote<br>8-Cantidad entregada<br>9-Tamaño (sección)<br>10-Número de pedido<br>11-Fecha de envío | SQCI              | 1                                              | 100 % lote        | Documental                                                     | Firma<br>Certificado                                                     |

## Apéndice C: Parámetros de Trabajo Pulidora A y B

| PARAMETROS DE TRABAJO PULIDO A |                |                              |                         |           |                 | Fecha            |     |     | -----              |     | rev. Nº |   | 0 |
|--------------------------------|----------------|------------------------------|-------------------------|-----------|-----------------|------------------|-----|-----|--------------------|-----|---------|---|---|
|                                | DESENCARRETADO | ZONA TRABAJO SALIDA MATERIAL | Nº PASADA               | PARAMETRO | TIPO DE ACABADO | BANDAS DE PULIDO |     |     | CEPILLOS DE PULIDO |     |         |   |   |
|                                |                |                              |                         |           |                 | 1                | 2   | 3   | 1                  | 2   | 3       | 4 |   |
|                                |                | 1                            | Esquema Posición pulido | DESBASTE  |                 |                  |     |     |                    |     |         |   |   |
|                                |                |                              | Secuencia grano GRID Nº |           | 240             |                  |     | 180 | 320                | 180 | 320     |   |   |
|                                |                |                              | PRESIÓN                 |           |                 |                  |     |     |                    |     |         |   |   |
|                                |                | 2                            | Esquema Posición pulido | FINO      |                 |                  |     |     |                    |     |         |   |   |
|                                |                |                              | Secuencia grano GRID Nº |           |                 |                  | 400 | 180 | 320                | 180 | 320     |   |   |
|                                |                |                              | PRESIÓN                 |           |                 |                  |     |     |                    |     |         |   |   |
|                                |                | 3                            | Esquema Posición pulido | FINO      |                 |                  |     |     |                    |     |         |   |   |
|                                |                |                              | Secuencia grano GRID Nº |           |                 |                  | 400 | 180 | 320                | 180 | 320     |   |   |
|                                |                |                              | PRESIÓN                 |           |                 |                  |     |     |                    |     |         |   |   |

| PARAMETROS DE TRABAJO PULIDO B |                |                              |           |                         |                 |                  |       |         |                    |     |     |     |     |
|--------------------------------|----------------|------------------------------|-----------|-------------------------|-----------------|------------------|-------|---------|--------------------|-----|-----|-----|-----|
|                                |                |                              |           |                         |                 | Fecha            | ----- | rev. Nº | 0                  |     |     |     |     |
|                                | DESENCARRETADO | ZONA TRABAJO SALIDA MATERIAL | Nº PASADA | PARAMETRO               | TIPO DE ACABADO | BANDAS DE PULIDO |       |         | CEPILLOS DE PULIDO |     |     |     |     |
|                                |                |                              |           |                         |                 | 1                | 2     | 3       | 1                  | 2   | 3   | 4   |     |
|                                |                |                              | 1         | Esquema Posición pulido | DESBASTE        |                  |       |         |                    |     |     |     |     |
|                                |                |                              |           | Secuencia grano GRID Nº |                 | 240              |       |         |                    | 180 | 320 | 180 | 320 |
|                                |                |                              |           | PRESIÓN                 |                 |                  |       |         |                    |     |     |     |     |
|                                |                |                              | 2         | Esquema Posición pulido | FINO            |                  |       |         |                    |     |     |     |     |
|                                |                |                              |           | Secuencia grano GRID Nº |                 |                  |       |         | 400                | 180 | 320 | 180 | 320 |
|                                |                |                              |           | PRESIÓN                 |                 |                  |       |         |                    |     |     |     |     |

## Apéndice D: Diagrama Causa-Efecto defectos superficiales



## Apéndice E: Resultados control de calidad superficial

Estos son los valores obtenidos de la inspección superficial.

| Experimento | Poros | Pieles | Piques | Rayas | Defectos Totales |
|-------------|-------|--------|--------|-------|------------------|
| 1.1         | 0     | 12     | 0      | 0     | 12               |
| 1.1         | 0     | 0      | 0      | 0     | 0                |
| 1.1         | 0     | 1      | 0      | 0     | 1                |
| 1.1         | 0     | 7      | 0      | 0     | 7                |
| 1.1         | 7     | 0      | 0      | 0     | 7                |
| 1.1         | 0     | 0      | 0      | 0     | 0                |
| 1.1         | 2     | 0      | 0      | 0     | 2                |
| 1.1         | 0     | 0      | 0      | 6     | 6                |
| 1.1         | 0     | 0      | 7      | 0     | 7                |
| 1.1         | 1     | 0      | 0      | 0     | 1                |
| 1.1         | 0     | 0      | 0      | 15    | 15               |
| 1.1         | 0     | 0      | 0      | 0     | 0                |
| 1.1         | 0     | 2      | 0      | 0     | 2                |
| 1.1         | 0     | 7      | 0      | 0     | 7                |
| 1.1         | 0     | 0      | 0      | 4     | 4                |
| 1.2         | 0     | 0      | 25     | 0     | 25               |
| 1.2         | 0     | 0      | 25     | 0     | 25               |
| 1.2         | 0     | 0      | 25     | 0     | 25               |
| 1.2         | 0     | 0      | 25     | 0     | 25               |
| 1.2         | 0     | 0      | 20     | 0     | 20               |
| 1.2         | 0     | 0      | 0      | 50    | 50               |
| 1.2         | 0     | 0      | 50     | 0     | 50               |
| 1.2         | 0     | 0      | 25     | 0     | 25               |
| 1.2         | 0     | 0      | 12     | 0     | 12               |
| 1.2         | 0     | 0      | 10     | 0     | 10               |
| 1.2         | 0     | 0      | 0      | 7     | 7                |
| 1.2         | 0     | 4      | 0      | 0     | 4                |
| 1.2         | 0     | 0      | 0      | 0     | 0                |
| 1.2         | 1     | 0      | 0      | 0     | 1                |
| 1.2         | 0     | 0      | 0      | 0     | 0                |
| 1.3         | 0     | 0      | 30     | 0     | 30               |
| 1.3         | 0     | 0      | 0      | 5     | 5                |
| 1.3         | 1     | 0      | 0      | 0     | 1                |
| 1.3         | 0     | 3      | 3      | 0     | 6                |
| 1.3         | 2     | 0      | 0      | 0     | 2                |
| 1.3         | 0     | 0      | 35     | 0     | 35               |

|     |   |    |    |    |    |
|-----|---|----|----|----|----|
| 1.3 | 0 | 0  | 35 | 0  | 35 |
| 1.3 | 0 | 0  | 0  | 30 | 30 |
| 1.3 | 0 | 0  | 4  | 0  | 4  |
| 1.3 | 0 | 0  | 7  | 0  | 7  |
| 1.3 | 0 | 0  | 20 | 0  | 20 |
| 1.3 | 2 | 0  | 0  | 0  | 2  |
| 1.3 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1.3 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1.3 | 0 | 0  | 25 | 5  | 30 |
| 2.1 | 0 | 7  | 0  | 0  | 7  |
| 2.1 | 0 | 25 | 0  | 0  | 25 |
| 2.1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 2.1 | 0 | 0  | 15 | 0  | 15 |
| 2.1 | 0 | 25 | 0  | 0  | 25 |
| 2.1 | 0 | 5  | 0  | 0  | 5  |
| 2.1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 2.1 | 0 | 1  | 0  | 0  | 1  |
| 2.1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 2.1 | 0 | 2  | 0  | 0  | 2  |
| 2.1 | 0 | 0  | 1  | 0  | 1  |
| 2.1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 2.1 | 0 | 25 | 0  | 0  | 25 |
| 2.1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 2.1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 2.2 | 0 | 2  | 0  | 0  | 2  |
| 2.2 | 0 | 35 | 0  | 0  | 35 |
| 2.2 | 0 | 1  | 0  | 0  | 1  |
| 2.2 | 0 | 1  | 0  | 0  | 1  |
| 2.2 | 0 | 10 | 0  | 0  | 10 |
| 2.2 | 0 | 5  | 0  | 0  | 5  |
| 2.2 | 0 | 2  | 0  | 0  | 2  |
| 2.2 | 0 | 1  | 0  | 0  | 1  |
| 2.2 | 0 | 1  | 0  | 0  | 1  |
| 2.2 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 2.2 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 2.2 | 0 | 2  | 0  | 0  | 2  |
| 2.2 | 0 | 2  | 0  | 0  | 2  |
| 2.2 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 2.2 | 0 | 2  | 0  | 0  | 2  |
| 2.3 | 1 | 0  | 0  | 0  | 1  |
| 2.3 | 0 | 35 | 0  | 0  | 35 |

|     |   |    |    |   |    |
|-----|---|----|----|---|----|
| 2.3 | 1 | 0  | 0  | 0 | 1  |
| 2.3 | 0 | 0  | 0  | 0 | 0  |
| 2.3 | 0 | 1  | 0  | 0 | 1  |
| 2.3 | 6 | 4  | 0  | 0 | 10 |
| 2.3 | 1 | 0  | 0  | 0 | 1  |
| 2.3 | 0 | 5  | 0  | 0 | 5  |
| 2.3 | 0 | 1  | 0  | 0 | 1  |
| 2.3 | 1 | 2  | 0  | 0 | 3  |
| 2.3 | 0 | 35 | 0  | 0 | 35 |
| 2.3 | 0 | 0  | 10 | 0 | 10 |
| 2.3 | 0 | 1  | 0  | 0 | 1  |
| 2.3 | 0 | 0  | 35 | 0 | 35 |
| 2.3 | 0 | 0  | 35 | 0 | 35 |

## Apéndice F: Resultados control de calidad mecánico

Estos son los valores obtenidos del control de calidad mecánico en nuestro caso son valores del ensayo de tracción (MPa).

| Experimento | Resistencia Tracción Mpa | Experimento | Resistencia Tracción Mpa |
|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|
| 1           | 1262                     | 2           | 1102                     |
| 1           | 1260                     | 2           | 1123                     |
| 1           | 1262                     | 2           | 1105                     |
| 1           | 1262                     | 2           | 1121                     |
| 1           | 1261                     | 2           | 1124                     |
| 1           | 1262                     | 2           | 1108                     |
| 1           | 1262                     | 2           | 1108                     |
| 1           | 1251                     | 2           | 1125                     |
| 1           | 1262                     | 2           | 1105                     |
| 1           | 1262                     | 2           | 1111                     |
| 1           | 1257                     | 2           | 1103                     |
| 1           | 1262                     | 2           | 1108                     |
| 1           | 1258                     | 2           | 1108                     |
| 1           | 1262                     | 2           | 1123                     |
| 1           | 1262                     | 2           | 1115                     |
| 1           | 1257                     | 2           | 1108                     |
| 1           | 1258                     | 2           | 1108                     |
| 1           | 1262                     | 2           | 1125                     |
| 1           | 1261                     | 2           | 1105                     |
| 1           | 1262                     | 2           | 1111                     |
| 1           | 1262                     | 2           | 1103                     |
| 1           | 1248                     | 2           | 1108                     |
| 1           | 1262                     | 2           | 1108                     |
| 1           | 1261                     | 2           | 1123                     |

|   |      |   |      |
|---|------|---|------|
| 1 | 1258 | 2 | 1115 |
| 1 | 1259 | 2 | 1108 |
| 1 | 1262 | 2 | 1108 |
| 1 | 1257 | 2 | 1125 |
| 1 | 1258 | 2 | 1105 |
| 1 | 1262 | 2 | 1125 |
| 1 | 1261 | 2 | 1105 |
| 1 | 1262 | 2 | 1111 |
| 1 | 1262 | 2 | 1103 |
| 1 | 1262 | 2 | 1108 |
| 1 | 1262 | 2 | 1108 |
| 1 | 1261 | 2 | 1123 |
| 1 | 1258 | 2 | 1108 |
| 1 | 1259 | 2 | 1108 |
| 1 | 1262 | 2 | 1123 |
| 1 | 1257 | 2 | 1115 |
| 1 | 1258 | 2 | 1110 |
| 1 | 1262 | 2 | 1112 |
| 1 | 1261 | 2 | 1115 |
| 1 | 1258 | 2 | 1105 |
| 1 | 1260 | 2 | 1106 |

## Apéndice G: Resultados control de calidad dimensional

Estos son los valores obtenidos del control de calidad dimensional de cuatro medidas por varilla.

| Ancho | Grueso | Ancho | Grueso | Ancho | Grueso | Ancho | Grueso |
|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 10,00 | 3,20   | 10,00 | 3,20   | 9,99  | 3,20   | 10,00 | 3,20   |
| 10,01 | 3,20   | 10,00 | 3,20   | 10,00 | 3,19   | 10,00 | 3,20   |
| 10,00 | 3,18   | 10,00 | 3,20   | 10,00 | 3,20   | 10,01 | 3,20   |
| 10,00 | 3,19   | 10,00 | 3,20   | 9,99  | 3,20   | 10,01 | 3,20   |
| 10,01 | 3,20   | 10,01 | 3,18   | 10,00 | 3,20   | 10,00 | 3,18   |
| 10,00 | 3,20   | 9,99  | 3,20   | 10,01 | 3,20   | 10,00 | 3,20   |
| 10,00 | 3,20   | 10,00 | 3,20   | 9,99  | 3,18   | 10,01 | 3,20   |
| 9,99  | 3,20   | 10,01 | 3,20   | 10,00 | 3,20   | 9,99  | 3,20   |



|       |      |       |      |       |      |       |      |
|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| 10,01 | 3,18 | 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 |
| 9,99  | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,19 | 9,99  | 3,18 |
| 10,01 | 3,20 | 9,99  | 3,18 | 10,01 | 3,19 | 10,00 | 3,20 |
| 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,20 | 9,99  | 3,20 | 10,01 | 3,20 |
| 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,18 | 9,99  | 3,20 |
| 9,99  | 3,20 | 10,01 | 3,19 | 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,19 |
| 10,00 | 3,18 | 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,19 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,20 |
| 10,01 | 3,18 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,18 |
| 10,00 | 3,19 | 10,01 | 3,20 | 9,99  | 3,20 | 10,01 | 3,20 |
| 10,00 | 3,20 | 9,99  | 3,19 | 10,00 | 3,20 | 9,99  | 3,18 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,19 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,01 | 3,18 | 10,01 | 3,20 |
| 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,18 | 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,20 |
| 9,99  | 3,18 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 |
| 10,00 | 3,20 | 10,01 | 3,18 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 |
| 10,01 | 3,19 | 9,99  | 3,19 | 10,01 | 3,19 | 9,99  | 3,20 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 9,99  | 3,19 | 10,00 | 3,19 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,19 |
| 10,00 | 3,20 | 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,18 | 10,01 | 3,20 |
| 9,99  | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,01 | 3,18 |
| 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,20 |
| 10,00 | 3,20 | 9,99  | 3,20 | 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,18 |
| 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,19 | 9,99  | 3,19 | 10,01 | 3,19 |
| 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,19 | 9,99  | 3,20 |
| 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 |
| 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,20 | 10,01 | 3,18 | 10,00 | 3,20 |
| 10,01 | 3,20 | 9,99  | 3,19 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 |
| 9,99  | 3,18 | 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,18 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 9,99  | 3,19 | 10,01 | 3,20 |
| 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 9,99  | 3,19 |
| 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,19 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,19 |
| 10,01 | 3,20 | 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,01 | 3,20 |

|       |      |       |      |       |      |       |      |
|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| 9,99  | 3,20 | 9,99  | 3,20 | 9,99  | 3,18 | 10,00 | 3,18 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,20 |
| 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,19 | 9,99  | 3,18 |
| 10,01 | 3,20 | 10,01 | 3,19 | 10,01 | 3,19 | 10,00 | 3,19 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,20 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 |
| 9,99  | 3,19 | 9,99  | 3,20 | 9,99  | 3,19 | 10,00 | 3,20 |
| 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,20 | 9,99  | 3,20 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,19 | 10,01 | 3,18 |
| 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,01 | 3,19 |
| 9,99  | 3,18 | 9,99  | 3,20 | 9,99  | 3,20 | 10,00 | 3,20 |
| 10,01 | 3,19 | 10,00 | 3,20 | 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,19 |
| 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,18 | 9,99  | 3,20 |
| 10,00 | 3,18 | 9,99  | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,19 |
| 10,00 | 3,20 | 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,19 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,19 | 10,01 | 3,19 | 10,00 | 3,19 |
| 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,19 | 9,99  | 3,19 | 9,99  | 3,20 |
| 10,01 | 3,19 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,01 | 3,18 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,20 |
| 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,20 | 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,18 |
| 9,99  | 3,20 | 10,01 | 3,18 | 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,19 |
| 10,01 | 3,18 | 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,20 |
| 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,19 | 9,99  | 3,20 | 10,01 | 3,20 |
| 9,99  | 3,20 | 9,99  | 3,19 | 10,00 | 3,18 | 9,99  | 3,20 |
| 10,01 | 3,20 | 10,01 | 3,18 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 |
| 10,00 | 3,20 | 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,18 |
| 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,01 | 3,20 |
| 9,99  | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 9,99  | 3,19 | 10,00 | 3,19 |
| 10,00 | 3,20 | 9,99  | 3,18 | 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,20 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,20 | 9,99  | 3,19 |
| 10,01 | 3,19 | 10,00 | 3,19 | 9,99  | 3,19 | 10,00 | 3,20 |
| 10,00 | 3,19 | 10,01 | 3,18 | 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,19 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,20 |

|       |      |       |      |       |      |       |      |
|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| 10,01 | 3,18 | 10,00 | 3,20 | 9,99  | 3,18 | 10,00 | 3,20 |
| 9,99  | 3,20 | 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 9,99  | 3,20 |
| 10,00 | 3,18 | 9,99  | 3,19 | 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,20 |
| 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,18 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,01 | 3,20 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,18 | 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,20 |
| 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 9,99  | 3,20 | 10,00 | 3,20 |
| 9,99  | 3,20 | 10,01 | 3,18 | 10,00 | 3,20 | 9,99  | 3,19 |
| 10,00 | 3,18 | 9,99  | 3,19 | 10,01 | 3,18 | 10,00 | 3,19 |
| 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 |
| 10,01 | 3,19 | 10,00 | 3,18 | 10,00 | 3,19 | 10,00 | 3,18 |
| 10,00 | 3,20 | 10,01 | 3,20 | 10,00 | 3,20 | 10,00 | 3,20 |

## Apéndice H: Programa Predicción defectos en R

```

require(ggplot2)
require(pscl)
require(boot)
tabla <- read.csv("Rtexp1.csv")
summary(tabla)
zeros <- read.csv("Rtexp1.csv")
zeros <- within(zeros, {
  Poros <- factor(Poros)
  Pieles <- factor(Pieles)
  Piques <- factor(Piques)
  Rayas <- factor(Rayas)
  Defectos <- factor(Defectos)
})
summary(zeros)
tabla <- within(tabla, {
  Horno <- factor(Horno)
  Pulidora <- factor(Pulidora)
})
Tabla <- read.csv("Rtexp1.csv")
xyplot(Defectos~Pulidora | factor(Horno), data=Tabla, layout=c(2,1), type="p", col=1, pch=16)
## Simulación glm con poisson
glm1 <- glm(Defectos ~ Horno + Pulidora, data = tabla, family=poisson)
summary(glm1)
plot(glm1)

## Simulación glm con zeroinflatepoisson

```

```

zeroinf <- zeroinfl(Defectos ~ Horno + Pulidora, data = tabla)
summary(zeroinf)
E0 <- resid(zeroinf)
F0 <- fitted(zeroinf)
par(mfrow = c(1,2), mar = c(5,5,3,2))
plot(x=F0, y=E0, xlab= "Predicted values", ylab="Residuals",cex.lab=1.5)
abline (h=0, lty=2)
## Comparación poisson con zeroinflatepoisson
vuong(glm1,zeroinf)
## Predicción función zeroinflate
predict(zeroinf)
plot(predict(zeroinf))
newdata1 <- expand.grid(1:3,factor(0:1))
colnames(newdata1) <- c("pulidora", "horno")
newdata1$phat <- predict(zeroinf, newdata1)
newdata1$phat
plot(newdata1$phat,xlab= "Experimento", ylab="Defectos",cex.lab=1.5)
ggplot(newdata1, aes(x = pulidora, y = phat, colour = factor(horno))) +
  geom_point() +
  geom_line() +
  labs(x = "Pulidora", y = "Numero de defectos")

```